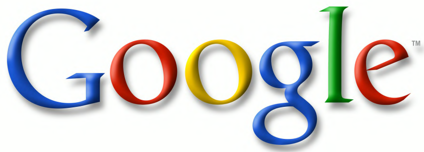
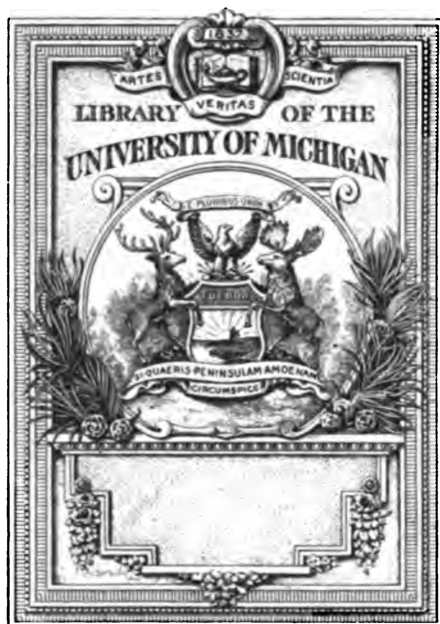
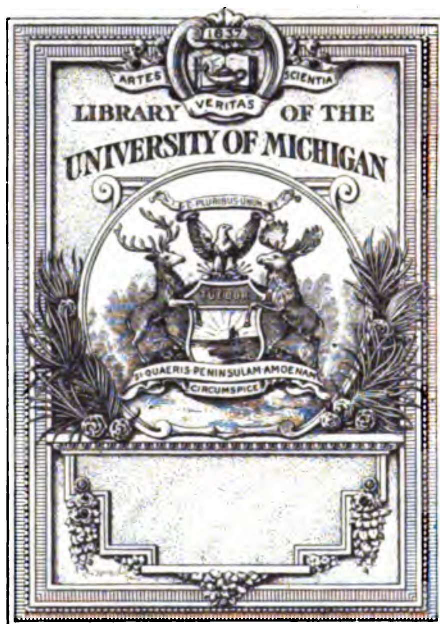
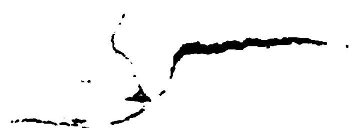

Google




1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE





ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée ainsi qu'il suit :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. l'Ingénieur, secrétaire de la Commission des* ANNALES DES MINES, à Paris.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence.

Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 90 à 100 feuilles d'impression et de 20 à 24 planches gravées.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.



ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XI.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1877

ANNALES

DES MINES

Alfred-Charles-Ernest FRANQUET DE FRANQUEVILLE,

CONSEILLER D'ÉTAT,

Directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer.

NOTICE

SUR SA VIE ET SES TRAVAUX

Par M. F. JACQMIN,

Ingénieur en chef des ponts et chaussées,
Directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est.

> Dans ma très-longue carrière, je n'ai pas trouvé d'homme plus droit, plus capable que M. de Franqueville. Il a été, selon moi, dans le demi-siècle auquel j'ai assisté, l'un des personnages qui ont rendu à la France les services les plus réels et les plus sérieux.
>
> (*Lettre de M. Thiers à M. Ch. de Franqueville.*)

« Quelqu'un d'entre vous écrira cette vie, qui doit être montrée à tous, ses émules et ses disciples, comme un modèle et un exemple. » — M. Charles de Franqueville, fils de notre regretté directeur général, a bien voulu exprimer le désir que je répondisse à cet appel que M. le ministre des travaux publics nous adressait à tous le jour où, sur une tombe encore ouverte, il prononçait les paroles émues

et sympathiques qui ont eu un si grand et si légitime retentissement.

Ingénieur des ponts et chaussées, directeur de l'une des six grandes compagnies de chemins de fer en France, j'ai connu M. de Franqueville pendant trente-trois ans. A plusieurs reprises et dans des circonstances difficiles, j'ai eu l'honneur de discuter avec lui de graves questions. Puissé-je m'acquitter avec succès d'une tâche dont je sens tout le poids!

Presque tout ce qui était à dire sur M. de Franqueville a été exprimé sur sa tombe par M. le ministre des travaux publics, par les représentants les plus élevés du Conseil d'État, du ministère, du conseil général des ponts et chaussées; tous ont rendu le plus sincère hommage à cet homme de bien, à ce grand administrateur, et il me sera bien difficile de parler après eux.

I.

Enfance et jeunesse de M. de Franqueville, ses travaux jusqu'à son entrée au ministère des travaux publics : 1809-1838.

Enfance de M. de Franqueville. — Alfred-Charles-Ernest Franquet de Franqueville naquit à Cherbourg le 9 mai 1809; il était le troisième fils d'Hippolyte-Joseph-Jean Franquet de Franqueville, commissaire principal de la marine. La carrière de ce dernier avait été traversée par de grands malheurs. Échappé, non sans peine, aux massacres de Saint-Domingue, il n'était rentré en France qu'après avoir été fait prisonnier de guerre par les Anglais. Successivement attaché aux ports de Toulon, de Dunkerque et de Cherbourg, signalé partout comme un fonctionnaire excellent, d'une intégrité hors ligne, il épousait en 1803, à Dunkerque, Mlle Adèle Mallès, fille d'un capitaine de vaisseau.

Il jouissait à Cherbourg d'une considération universelle et remplissait, dans ce grand port, les fonctions de préfet maritime lorsqu'il fut enlevé subitement à l'affection des siens, en 1812.

Veuve à vingt-sept ans, Mme de Franqueville restait dans une position affreuse : son mari ne lui laissait aucune fortune et elle avait quatre enfants, dont l'aîné âgé de six ans et le dernier d'un an à peine. Son père venait de mourir et la pension de Mme Mallès avait été liquidée à 600 francs ; enfin, son frère, le seul appui qui lui restât, disparaissait quelques mois après, au passage de la Bérésina. Grâce au concours d'amis dévoués, le chiffre réglementaire de la pension de Mme de Franqueville fut élevé de 300 à 900 francs.

Dans les premiers mois de 1813 elle quitta le bel hôtel de la préfecture maritime de Cherbourg pour aller, avec sa mère et ses enfants, s'installer dans un bien modeste appartement à Paris. En prenant ce parti, la courageuse veuve estimait que, dans cette ville seulement, elle arriverait à donner à ses fils une instruction complète, et elle poursuivit ce but avec la plus ardente tendresse ; elle retrouvait d'ailleurs à Paris des amis de sa famille, dont elle comptait réclamer et dont elle obtint l'appui moral, le seul qu'elle désirât.

Une pension de 1.000 francs, accordée par le Roi en 1815, vint diminuer la gêne du pauvre ménage, et deux bourses données, à deux années d'intervalle, permirent de placer les deux fils aînés au collège Louis-le-Grand. Restait le troisième, Ernest, le futur directeur général. L'anxiété de Mme de Franqueville était extrême à son sujet ; elle ne savait comment faire pour assurer l'instruction d'un enfant qui montrait les plus heureuses dispositions ; elle ne pouvait songer à demander une troisième bourse ; un triste événement rendit possible une solution : son fils aîné, Charles, fut enlevé par une cruelle maladie, et la bourse qu'il avait au lycée fut transférée au jeune Ernest.

M. de Franqueville n'a jamais oublié ces temps douloureux, et il ressentait une légitime fierté au souvenir des épreuves soutenues par les siens et par lui. *Pauper sum et in laboribus à juventute mea;* il a répété souvent ces paroles du Psalmiste à son fils, et celui-ci, en recueillant, pour ses enfants, les souvenirs destinés à faire vivre dans leur mémoire leur grand-père et leur arrière-grand-père, a choisi pour épigraphe ces mots qui résument des vies si honorables.

Collège Louis-le-Grand. — Ernest de Franqueville entrait au collége avec la ferme intention de se distinguer; il n'avait que sept ans, mais il savait que le seul moyen d'adoucir les chagrins de sa mère était de lui apporter des couronnes; pendant neuf années il lui en fournit une ample récolte. Ardent en toutes choses, le premier en classe et le premier au jeu, il n'y avait, disait-on, que les mathématiques auxquelles il ne *mordait* pas.

En rhétorique, il eut le prix d'honneur. Ses condisciples n'étaient pas cependant des rivaux à dédaigner. L'amiral Rigault de Genouilly, les généraux Soleille et Princeteau, le procureur général Petitjean, MM. Jules Lacroix, Amaury Duval, de Champagny étaient les camarades du jeune de Franqueville, qui comptait parmi ses anciens Drouyn de Lhuys, Jules Janin, Cuvillier-Fleury.

Le baccalauréat ès lettres obtenu après la classe de philosophie (M[me] de Franqueville tenait fermement à la culture des lettres), il s'agissait de savoir ce que l'on ferait du brillant lauréat. Deux amis de la famille décidèrent que l'on tenterait l'admission à l'École polytechnique. Ces amis étaient, le premier, un grand-oncle par alliance, l'illustre Beautemps-Beaupré, le fondateur du service hydrographique de la France; le second, l'intrépide général Dubreton, un des plus vaillants chefs de l'armée française pendant la guerre d'Espagne. Ernest de Franqueville fut placé dans l'institution Mayer. Il y avait bien la question d'argent,

toujours si difficile à résoudre; mais l'oncle Beautemps-Beaupré put faire accepter son concours, et tout vint à souhait.

Au bout de moins d'un an de préparation, l'élève qui, au dire de ses premiers maîtres, n'avait pas de dispositions pour les mathématiques, entrait le second à l'École polytechnique. Le chef de la promotion de 1827 était M. Chaperon, qui devait, pendant quarante ans, prendre une part considérable à la construction du réseau des chemins de fer français.

École polytechnique. — Franqueville fut, à l'École, ce qu'il avait été à Louis-le-Grand, un travailleur infatigable, mais un travailleur aimable, de bonne humeur et n'ayant que des amis. Dans la précieuse collection des lettres qu'il a adressées à sa mère, collection conservée par celle-ci comme un de ses plus chers trésors, il existe des billets charmants qui témoignent à la fois de la tendresse inquiète de la mère et du profond amour du fils. On était en 1828. Il y avait souvent des rassemblements dans les rues; Mme de Franqueville se troublait à la pensée de voir son fils traverser de semblables foules; elle le conjurait de suivre, pour rentrer à l'École, des rues bien tranquilles. Un dimanche au soir, le fils, aussitôt arrivé, s'empresse d'écrire à sa mère pour la rassurer; il a suivi ses conseils, lui dit-il avec beaucoup de gaieté; il n'a rencontré sur sa route qu'une seule personne, le crieur public qui vendait la loi contre les attroupements; il l'a abordé pour lui acheter ce document, au risque de devenir ainsi lui-même un fauteur de rassemblements.

Nous ne suivrons pas notre jeune polytechnicien dans les deux années passées à l'École : à la sortie il obtenait le premier rang. Sur les conseils des vieux amis de sa famille, il choisissait le service des ponts et chaussées, et, le 20 novembre 1829, il était nommé élève ingénieur; il avait alors vingt ans et demi.

La feuille des états de services du jeune ingénieur, qui allait être très-rapidement remplie, recevait ainsi une première mention. Pour ne pas interrompre notre récit par des dates trop fréquentes, nous avons résumé, dans un seul tableau, les étapes parcourues par M. de Franqueville dans la hiérarchie des ponts et chaussées, dans l'administration des travaux publics, au Conseil d'État, enfin dans l'ordre de la Légion d'honneur. Ajoutons que toutes ces étapes étaient franchies sans que chez aucun camarade le moindre sentiment de jalousie se soit jamais manifesté.

École des ponts et chaussées. — Mais revenons à l'École des ponts et chaussées. L'instruction donnée dans cette grande École est divisée en deux parts : pendant l'hiver, des leçons, des concours et des examens; pendant l'été, des missions sur de grands chantiers en France et même à l'étranger. Tout est disposé pour enlacer et retenir les jeunes ingénieurs dans les liens d'une camaraderie puissante que l'on a souvent critiquée, mais qui, depuis quatre-vingts ans, repose sur des bases inébranlables : le dévouement au pays, l'honneur et la probité.

Pendant l'hiver, les cours sont faits par des ingénieurs qui, quelquefois sans grande préoccupation de l'art de la parole et par le simple récit de leurs travaux et de leurs luttes, exercent une sérieuse influence sur leurs jeunes auditeurs. Pendant l'été, les ingénieurs accueillent leurs nouveaux camarades de la manière la plus cordiale et les initient à la pratique des grands chantiers et aux règles du service administratif.

La mission, heureux temps! La jeunesse, plus d'examens ni de concours, pas encore de responsabilité et 142f,50 à dépenser par mois. Pour Franqueville, pour beaucoup d'autres, hier et aujourd'hui, c'était et c'est presque la richesse.

Franqueville eut deux missions. La première en 1830, à Draguignan et à Toulon; la seconde en 1831, à Saint-Lô et

en Normandie. Les lettres nombreuses qu'il adressait à sa mère témoignent du bonheur qu'il rencontrait à chaque pas dans cette vie nouvelle; il voyageait, il était accueilli comme un fils ou un frère par les ingénieurs; mais cela ne l'empêchait pas de travailler comme il savait travailler.

Pendant sa mission à Toulon, Franqueville fit la connaissance d'un officier du génie un peu plus âgé que lui, pour lequel il eut toujours une vive affection : c'était le futur maréchal Niel. En attendant leurs hautes destinées, le jeune capitaine et l'élève ingénieur passaient ensemble leurs soirées à jouer aux dominos.

Pendant toute sa vie, Franqueville a été un rigide observateur du devoir; jamais il n'a transigé avec ce qu'il considérait comme la règle. Un bien petit incident, raconté par lui à sa mère, montre quels étaient à ce sujet ses scrupules et ceux de l'oncle Beautemps-Beaupré. Il était à Saint-Lô en mission sous les ordres de M. l'ingénieur en chef Dan de la Vauterie; survient son oncle qui désire l'emmener, le lendemain matin à trois heures, à Granville; mais l'ingénieur en chef était absent; impossible de partir sans autorisation. En vain l'ingénieur ordinaire, l'excellent M. Tostain, dit qu'il n'y a aucun empêchement, qu'il répond du consentement de son chef. Pas d'autorisation, pas de départ; l'oncle et le neveu se résignent. M. Tostain ne se tient pas pour battu. M. Dan devait rentrer à minuit; M. Tostain va l'attendre à cette heure si anormale à Saint-Lô et lui conte l'incident. Le brave ingénieur en chef court réveiller Franqueville pour lui dire de partir. Il y a bien peu de chose dans tout ceci; cependant cette fermeté dans le devoir du jeune Franqueville, cette cordialité de Tostain, cette bonté de l'ingénieur en chef, tout cela constitue une histoire bien simple, mais une histoire qui fait honneur à ceux qui en ont été les modestes héros.

Mission au conseil général des ponts et chaussées. — Après

avoir terminé ses études à l'École des ponts et chaussées, Franqueville était attaché pour un an au secrétariat du conseil général des ponts et chaussées, avec mission d'assister aux séances.

La mission au conseil, pour parler le langage de l'École, est un poste bien envié et bien enviable. Quelque brillante qu'ait été plus tard la carrière parcourue par les ingénieurs qui ont obtenu cette situation, tous reportent à cette heureuse année le point de départ de leurs succès. Pour un jeune homme ardent au travail, intelligent comme l'était Franqueville et en possession d'une éducation littéraire parfaite, complétée par l'éducation polytechnique qui donne la méthode, il était impossible de trouver une meilleure initiation à la vie pratique et administrative.

Les plus grandes affaires du pays, en fait de travaux publics, arrivent toutes au conseil général des ponts et chaussées. Les influences locales, les bruits extérieurs s'arrêtent, en quelque sorte, à la porte du conseil. Chaque affaire est examinée avec la plus complète indépendance par des hommes qui ont quelquefois cinquante années de services, mais qu'anime toujours la passion du bien public. Franqueville était digne d'écouter de tels hommes (*).

Le secrétaire du conseil, chef direct du jeune attaché, M. Legrand, qui sous une froideur apparente cachait un cœur excellent, conçut de Franqueville la plus haute opinion et, par une faveur exceptionnelle, le garda une seconde année à Paris.

Traduction du traité de N. Wood *sur les chemins de fer.* — Franqueville n'avait jamais assez d'ouvrage ; pendant ses années d'école ou de séjour au conseil général, il entreprit de traduire, en collaboration avec ses deux intimes

(*) Le conseil général des ponts et chaussées comptait parmi ses membres, en 1832, des hommes dont le pays honore la mémoire : Sganzin, Prony, Tarbé de Vauxclairs, Deschamps, Bérigny, Cavenne, Lamandé, Lamblardie, Polonceau, de Villiers du Terrage.

amis, M. de Montricher et M. de Ruolz, un livre qui venait de paraître en Angleterre : *Traction on Railroads*, *by N. Wood.*

Il est impossible de songer à écrire une biographie de M. de Franqueville, sans parler de MM. de Montricher et de Ruolz : le premier a attaché son nom à une œuvre impérissable, le canal de Marseille et le grand aqueduc de Roquefavour ; le second, plus connu encore par ses travaux sur la dorure et l'argenture des métaux par les voies chimiques.

Les trois amis passaient presque toutes leurs soirées ensemble ; on traduisait Nicolas Wood, on faisait de la musique ou des expériences de chimie. Il existe une légende d'un diamant, d'un vrai diamant obtenu par la voie humide et trouvé par Montricher au fond d'un bocal oublié ; mais on avait oublié en même temps ce que l'on avait mis dans ce bocal, et les trois amis s'épuisèrent en vains efforts pour reproduire la cristallisation du charbon.

Séjour à Soissons. — Il fallut enfin quitter Paris. Franqueville fut envoyé à Soissons le 17 mai 1834, et chargé du service ordinaire de l'arrondissement. C'était une tâche facile. Grâce à son aménité parfaite, le jeune ingénieur eut bientôt les meilleurs rapports avec toutes les autorités de la ville et des environs, et son service fut fait d'une manière digne d'éloges.

Pendant ce séjour à Soissons, Franqueville acheva seul la traduction du livre de Nicolas Wood (*) et fournit plusieurs articles à l'*Encyclopédie nouvelle*, publiée sous les

---

(*) L'ouvrage de N. Wood est à peu près inconnu aujourd'hui ; il ne mérite pas cet oubli. On ne saurait contester le bon sens et la perspicacité d'un homme qui écrivait, il y a près d'un demi-siècle, les lignes suivantes :

« Les chemins de fer réunissent toutes les qualités nécessaires
« soit pour le transport des marchandises lourdes ou légères, soit
« pour le transport des personnes, et par conséquent doivent se

auspices de Pierre Leroux et de Jean Reynaud. Son travail sur les aérostats fut remarqué ; il se terminait par la conclusion suivante :

« Dans l'état actuel de la science, la création d'une na-
« vigation aérienne est subordonnée à la découverte d'un
« nouveau moteur beaucoup moins pesant que tous ceux
« qui sont connus aujourd'hui. Ce résultat paraît difficile
« à obtenir, mais il faut se garder de le considérer comme
« impossible. Combien les hommes n'ont-ils pas vu de pré-
« tendues impossibilités entrer dans le domaine de la
« réalité ! »

Écrites il y a 47 ans, ces lignes sont encore absolument vraies.

M. Legrand n'oubliait pas son jeune collaborateur du conseil ; il l'appela plusieurs fois à Paris et lui confia la rédaction d'exposés des motifs de lois à soumettre aux Chambres. On peut sourire à cette idée d'un ingénieur de 28 ans venant pour se distraire à Paris et trouvant de pareils travaux à préparer ; mais on peut affirmer que la confiance manifestée par M. Legrand était vivement sentie par Franqueville, et que jamais documents administratifs n'ont été rédigés avec plus de verve et de talent.

Nomination au service ordinaire à Paris. — Deux décisions successives fixèrent la résidence de Franqueville à Paris : la première, du 31 juillet 1837, le chargeait de l'ar-

---

« substituer aux autres voies de communication partout où l'im-
« portance du mouvement commercial permettra d'engager les
« capitaux qu'exige leur établissement. »

On ne saurait mieux dire aujourd'hui ; les chemins de fer constituent un instrument puissant, mais un instrument d'un grand prix ; il est imprudent de l'acquérir lorsque l'on n'a rien à lui donner à faire.

En faisant connaître cet ouvrage au public français, les jeunes traducteurs donnaient eux-mêmes une preuve de discernement ; ils appréciaient l'importance des chemins de fer, et leur travail mettait les ingénieurs français au courant des expériences nombreuses faites par les ingénieurs anglais.

rondissement nord-est de Seine-et-Oise; la seconde, du 17 mars 1838, lui confiait l'arrondissement est du département de la Seine.

Au moment de son départ de Soissons, le conseil municipal prit la délibération suivante, inscrite sur ses registres :

« Le conseil municipal de Soissons unit avec empresse-
« ment sa voix à celle de la commission du budget, pour
« exprimer à M. l'ingénieur des ponts et chaussées toute
« la reconnaissance des habitants; la ville conservera de
« son administration un précieux souvenir. »

Nous n'avons trouvé aucun fait à signaler dans l'année passée dans les deux services que nous venons de désigner; la correspondance de Franqueville avec sa mère va nous faire désormais défaut; mais on ne saurait douter que son service n'ait été irréprochable : il n'était pas homme à laisser une seule affaire en retard.

Entrée au ministère des travaux publics. — M. Legrand cherchait évidemment l'occasion d'appeler auprès de lui un ingénieur dont il appréciait la haute capacité; un arrêté ministériel, du 23 octobre 1838, nomma Franqueville chef de la section de la navigation et des ports.

Mariage de M. de Franqueville. — Presqu'au même moment, un grand événement se produisit dans sa vie. M. de Franqueville se mariait; il épousait, le 15 décembre 1838, à l'église Notre-Dame de Versailles, Mlle Cécile Belle de Caux. Mme de Franqueville apportait à son mari une grande aisance; c'était pour ce dernier presqu'un souci; il lui faudrait, disait-il, redoubler d'efforts et de travail pour se montrer digne de la fortune. Une seule chose lui plaisait dans la richesse : il pourrait être, en cas de besoin, le Beautemps-Beaupré de ses neveux.

Une personne, à ce moment, recevait à bon droit les félicitations de tous les siens : c'était Mme de Franqueville mère. La tâche si lourde qu'elle avait entreprise 26 ans auparavant était accomplie; elle avait perdu un de ses

enfants, mais les trois autres étaient arrivés à des situations qu'elle n'eût pas osé rêver. Sa fille avait épousé un brillant officier, le fils du lieutenant général baron Dubreton; son fils Amédée, marié à M[lle] Ternaux, suivait, dans les consulats, une carrière honorable; enfin, son fils Ernest avait, dans les ponts et chaussées, un nom déjà connu. De grands chagrins devaient frapper encore cette mère de famille si respectable; mais elle avait suivi l'exemple de la femme forte de l'Évangile, et elle recevait, en ce monde, une première récompense.

II.

Ministère des travaux publics. — Section de la navigation. — Direction des ponts et chaussées : 1838-1855.

Organisation du service sous l'administration de M. Legrand. — M. Legrand, directeur général des ponts et chaussées et des mines, avait réparti le travail entre six sections :

Le secrétariat général et le personnel,
Le matériel des ponts et chaussées,
Les chemins de fer et la police du roulage,
La navigation,
Les mines,
La comptabilité générale.

En 1838, les quatre premières sections étaient confiées à des ingénieurs : MM. Robin, Noël, de Boureuille et Schwilgué; les deux autres collaborateurs de M. Legrand étaient MM. de Cheppe et Gautier-Dagoty.

Section de la navigation. — M. de Franqueville était nommé en remplacement de M. Schwilgué, avec le titre de

chef de section qui fut changé, trois ans plus tard, en celui de chef de division. Le service de la navigation comprenait :

Le desséchement des marais,
Les ports maritimes de commerce,
Les phares et fanaux,
Les digues et travaux à la mer,
Les travaux des dunes,
Les canaux d'irrigation,
Les chambres syndicales,
Les fleuves et rivières,
Les canaux de navigation.

Ce service embrassait la France entière, et il y avait de quoi satisfaire l'activité d'esprit la plus ardente.

Dans les premières années de son séjour au ministère, il est difficile de dire quelle a été la tâche spéciale accomplie par M. de Franqueville. Il était le collaborateur assidu de M. Legrand, et il a pris, à tous les travaux exécutés dans cette période relativement tranquille de notre histoire, de 1838 à 1847, une part d'autant plus grande qu'à cette époque M. Legrand préparait avec M. de Boureuille les premières grandes lois relatives aux chemins de fer.

En 1839, parut la statistique des ports de commerce de la France. C'était une œuvre considérable, donnant l'inventaire des ouvrages existant dans nos ports, leur importance commerciale et l'indication des travaux proposés par les ingénieurs, travaux dont les devis s'élevaient à 140 millions de francs.

Les lois promulguées de 1839 à 1846 ouvrirent aux travaux publics des crédits d'environ 100 millions, à l'aide desquels de nombreuses constructions furent entreprises dans tous nos ports, notamment à Calais, à Dieppe, au Havre, à Redon, à Saint-Nazaire, à Bordeaux, à Cette et à Marseille; la création du bassin de l'Eure au Havre et celle du port de la Joliette à Marseille remontent à cette époque.

Rachat des canaux. — L'administration commençait à

ce moment le rachat des canaux concédés. Il y a lieu de donner quelques détails sur cette grande opération entreprise par M. Legrand, poursuivie par M. de Franqueville, et qui, sans la guerre de 1870, serait aujourd'hui terminée. Nous avons retrouvé une note écrite par M. de Franqueville le 18 février 1873 sur cette importante affaire. Les renseignements qui suivent en sont presque textuellement extraits.

L'ensemble des canaux ouverts ou en construction s'élevait avant la guerre à 5.205 kilomètres, sur lesquels 4.200 étaient terminés. Ces voies navigables se répartissaient de la manière suivante :

Concédées à perpétuité	713	kilom.
Concédées temporairement	652	—
Exécutées par l'État	3.840	—
Total pareil	5.205	kilom.

La perte de l'Alsace-Lorraine a modifié ces chiffres. En tenant compte des lignes récemment achevées, la longueur au 31 juillet 1876 est de 4.702 kilomètres.

La plupart des concessions perpétuelles datent du milieu et de la fin du XVII[e] siècle; la dernière, applicable au canal de Roanne à Digoin, est du 11 octobre 1830.

Parmi les canaux exécutés par l'État et non concédés, 2.250 kilomètres sont désignés sous le nom de canaux de 1821 et 1822, parce que leur achèvement a été réalisé au moyen d'emprunts spéciaux contractés en vertu des lois des 5 août 1821 et 14 août 1822. Les traités passés avec les compagnies qui souscrivaient ces emprunts stipulaient en leur faveur le droit de partage des bénéfices de l'exploitation des canaux et, par suite, leur droit d'intervention dans la fixation des tarifs.

Les inconvénients de cette clause se firent vivement sentir dès que les voies navigables purent être livrées à l'exploitation, et le pays fit entendre à ce sujet de nombreuses réclamations. La question était fort délicate à ré-

soudre, et les exposés des motifs des lois soumises aux Chambres signalent les difficultés juridiques qui se présentaient.

Après de longues discussions, les dispositions suivantes furent adoptées :

Le rachat ne peut s'opérer pour chaque compagnie qu'en vertu d'une loi spéciale.

Le prix du rachat doit être fixé par une commission spéciale instituée pour chaque compagnie par ordonnance royale, et composée de neuf membres, savoir : trois nommés par le ministre des finances, trois par la compagnie, les trois autres par le premier président et les présidents réunis de la Cour royale de Paris.

Lorsque la commission aura prononcé, le rachat ne deviendra définitif qu'en vertu d'une loi spéciale qui ouvrira, s'il y a lieu, les crédits nécessaires, et qui devra être proposée dans l'année qui suivra la décision.

Ces sages dispositions furent largement appliquées, et l'on racheta successivement les actions de jouissance des canaux de 1821 et 1822, ainsi que la presque totalité des actions des canaux concédés. Un projet de loi préparé en 1870 allait assurer la fin de cette opération, mais la guerre ne permit pas d'y donner suite.

Propositions relatives à l'affermage des canaux. — Dans le cours des négociations relatives au rachat des canaux, le gouvernement reçut plusieurs propositions pour l'affermage de ces voies de communication. M. de Franqueville fut toujours opposé à cette mesure : pour lui, les canaux doivent, autant que possible, être assimilés à une route, et tout propriétaire de bateau doit pouvoir circuler comme circule le propriétaire d'une voiture, sans avoir autre chose à faire qu'à se conformer aux lois. Les plus graves motifs d'ordre et de sécurité ne permettent pas d'étendre cette analogie aux chemins de fer, bien que l'on en ait eu la

pensée à l'origine; mais pour les voies navigables, l'assimilation aux routes de terre était logique.

Les sociétés qui demandaient l'affermage réclamaient une garantie d'intérêt qui engageait l'État d'une manière absolue et qui portait sur la totalité des capitaux émis. Nous verrons M. de Franqueville admettre pour les chemins de fer le principe de la garantie d'intérêt, mais seulement pour une fraction du capital total engagé et avec d'importantes restrictions en faveur de l'État.

Exécution du canal latéral à la Garonne et du canal de la Marne au Rhin.— Nous ne devons point passer sous silence la construction de deux voies navigables de premier ordre entreprises à cette époque: le canal latéral à la Garonne et le canal de la Marne au Rhin. Le premier fut bien près d'être sacrifié : nous raconterons plus loin ce curieux incident.

Départ de M. Legrand. — Nommé depuis plusieurs années sous-secrétaire d'État, M. Legrand crut devoir, en 1847, quitter le ministère des travaux publics et prendre au Conseil d'État le poste de président du comité des travaux publics. Son départ fut, pour ses collaborateurs, un véritable déchirement. M. de Franqueville en ressentit personnellement la plus vive douleur; ses lettres racontent les préoccupations de M. Legrand, sa résolution et l'isolement dans lequel il laisse ses collaborateurs. M. de Franqueville se réfugia dans le travail, — c'était toujours sa grande ressource. A la vérité, nous ne savons pas trop ce qu'il pouvait ajouter à sa tâche quotidienne. Le matin au ministère, il ne quittait son cabinet que pour aller déjeuner; il partait à six heures du soir, et, après son dîner, se remettait presque tous les jours à son bureau, de huit heures jusqu'à minuit. Mme de Franqueville lisait à côté de son mari, ou s'occupait de travaux d'aiguille ou de tapisserie; c'était, il faut le reconnaître, un intérieur austère et que ne prévoient pas toujours les jeunes femmes qui veulent bien épouser ces travailleurs infatigables.

Révolution de 1848. Ateliers nationaux. — Les événements de 1848 troublèrent profondément M. de Franqueville. On parlait beaucoup du travail, du droit au travail, mais on ne travaillait guère. Des ateliers nationaux durent être organisés à Paris et sur plusieurs points du territoire. Une note laissée par M. de Franqueville donne, sur ceux de Paris, des renseignements qu'il nous a paru utile de rappeler au moins sommairement.

Le nombre des hommes enrôlés à Paris dans les ateliers nationaux s'est élevé à 115.000.

70.000 environ appartenaient aux industries du bâtiment;

30.000 se rattachaient aux industries de luxe et à l'article de Paris;

15.000 étaient sans profession avouée.

Plus de 30.000 n'avaient pas de domicile inscrit à Paris : ils venaient des départements voisins; quelques départements éloignés, notamment les Bouches-du-Rhône, avaient fourni un contingent notable.

L'insuccès des ateliers nationaux est dû principalement aux causes suivantes :

1° Absence de discipline;

2° Manque d'émulation;

3° Démoralisation produite par le sentiment de l'inutilité des travaux;

4° Chômages fréquents.

Nous estimons que les mêmes causes d'insuccès frapperont toutes les tentatives de ce genre qui pourraient être faites à nouveau. On retrouvera toujours l'absence de discipline chez beaucoup, le sentiment de l'inutilité du travail offert ou produit chez un grand nombre. Un ouvrier bijoutier se sentira toujours un mauvais terrassier.

M. de Franqueville examine quelles seraient les mesures à prendre pour améliorer une situation si difficile. Les unes se rapportent à des questions d'ordre et de police; les autres, plus importantes, prévoient l'exécution de grands

travaux publics : il propose notamment le percement de la rue de Rivoli et la construction des Halles centrales.

Nous ne croyons pas, pour notre part, à la solution directe du problème des ateliers nationaux. Que le travail véritable s'offre sur divers points du territoire, les bons ouvriers sauront le découvrir sans réglementation et sans pénalités.

Cours professé au Collége de France. — Le ministre de l'instruction publique eut la pensée de créer au Collége de France un cours d'économie générale et de statistique des travaux publics, et de le confier à M. de Franqueville. Celui-ci n'avait jamais professé, et, selon toute apparence, il n'avait jamais songé à cette fonction si honorable; néanmoins, nommé le 8 avril 1848, il abordait sa chaire dans les premiers jours du mois de mai. Il n'avait pas eu besoin d'une longue préparation, car il appartenait à cette catégorie d'hommes qui joignent à une instruction profonde l'habitude de l'ordre et de la méthode, qui savent discipliner leurs propres idées et obtiennent en quelques semaines, sans efforts apparents, ce que des esprits plus brillants, supérieurs à beaucoup d'égards peut-être, mais moins bien armés contre eux-mêmes, ne produisent pas en plusieurs mois.

Les leçons de M. de Franqueville n'ont pas été conservées; nous n'en connaissons même pas le nombre; ce que nous savons seulement, c'est que sa seconde leçon fut interrompue le 15 mai par le bruit du rappel, et qu'il quitta le Collége de France pour aller revêtir son habit de garde national et se joindre aux hommes courageux qui délivraient l'Assemblée nationale.

M. Charles de Franqueville a récemment découvert dans les papiers de son père quelques feuilles jaunies par le temps, qui contiennent l'énoncé sommaire d'un certain nombre de questions destinées sans doute à être développées devant un auditoire. On n'y trouve le plus souvent

qu'un mot indiquant l'ordre dans lequel les idées devaient être présentées. Mais ce qui véritablement éclate à la lecture de ces notes éparses, c'est la hauteur de vues avec laquelle le professeur avait conçu son cours.

Nous essayerons de donner un aperçu rapide du programme auquel il semble qu'il s'était arrêté :

La destinée de l'homme est de conquérir la terre, et l'exécution des travaux publics est une des manifestations les plus éclatantes de l'activité humaine.

Les nations anciennes n'ont pas connu ce que, dans les temps plus modernes, on a désigné sous le nom de travaux publics. Combattant incessamment contre la nature, l'homme eut pour première tâche de se construire un abri, un toit. C'est l'origine de l'architecture. Puis sont arrivées les difficultés de se procurer les choses nécessaires à la vie de familles nombreuses, et il a fallu songer aux moyens de communiquer les uns avec les autres; un premier sentier a été tracé, on l'a élargi pour le passage des bêtes de somme; après l'avoir aplani pour les chars, il a fallu triompher des obstacles que présentaient encore les ruisseaux, les rivières, les fleuves, la grande mer. Aujourd'hui rien n'arrête l'homme : les vallées sont comblées et les montagnes abaissées; des machines l'emportent, pendant de longues heures, avec des vitesses que les animaux les mieux doués ne supportent que pendant quelques instants d'une crise suprême.

L'homme a su trouver, dans la nature, des forces puissantes qu'il a disciplinées et mises à son service : l'eau, la vapeur.

Comment exécuter les grands travaux que l'homme désire? Seul, il est impuissant; les efforts de la famille, de quelques amis ne suffisent pas, il faut le concours de tous; la nation entière se met à l'œuvre et réalise les travaux publics.

Ce n'est pas tout encore. Il faut l'aide du capital, c'est-

à-dire de l'épargne de la société, du travail accumulé par les générations qui nous ont précédés. C'est avec ce capital que l'on creusera des mines, que l'on percera des souterrains, que l'on fera de grands navires. C'est parce qu'il existe des ressources autres que celles produites par le travail journalier que l'on peut exécuter des travaux ; si, pour vivre, tous devaient travailler à la terre, il n'y aurait ni mineurs, ni maçons, ni charpentiers.

M. de Franqueville envisage ensuite d'autres questions de la plus haute importance.

Quels sont le caractère et la mesure de l'utilité publique? L'utilité publique ne peut se mesurer uniquement par la rémunération directe du capital employé. Cette mesure est insuffisante. La route sur laquelle on a aboli les péages rend plus de services que lorsqu'elle avait des barrières. L'État doit donc intervenir au nom de tous, au nom des pauvres surtout; mais là encore il faut savoir comment agir. Appauvrir les riches pour enrichir les pauvres serait une déplorable faute; on accroîtrait seulement le nombre de ces derniers. Il faut augmenter le bien-être des classes les moins heureuses, mais non diminuer celui des classes qui possèdent déjà quelque chose.

Il faut enfin réagir contre les idées qui conduisent les foules dans les villes. Il y a dans notre pays d'immenses travaux agricoles à organiser; il y a des milliers d'hectares de dunes, de marécages, d'étangs; il faut rendre à la culture ces grandes surfaces. Des contrées peuvent produire beaucoup, mais elles n'ont pas de chemins pour écouler leurs récoltes, il faut leur en donner. La dépense à faire est bien inférieure au résultat obtenu.

Voilà quelles étaient, il y a trente ans, les idées de l'homme qui devait être placé à la tête d'un des grands services de notre pays; on ne saurait concevoir des pensées plus justes et plus généreuses.

La chaire des travaux publics au Collége de France fut

supprimée, nous ne savons pour quel motif, et les études auxquelles M. de Franqueville s'était livré furent inutiles, non pas pour lui, qui y avait trouvé une occasion de se recueillir et de se fortifier encore par la nécessité de résumer ses connaissances et son expérience, mais pour le public. M. de Franqueville reprit au ministère son travail ordinaire.

En 1849, le choléra fit à Paris d'assez grands ravages, et un certain nombre de personnes quittèrent la ville; on le pressa d'en faire autant. Il répond à ses amis de Bourgogne *qu'on s'occupait bien peu du choléra à Paris*, puis il parle récolte, élections, sans plus dire un mot des sollicitations auxquelles il avait à répondre. Faire son devoir et le faire sans bruit était sa règle de conduite invariable : « Le bien ne fait jamais de bruit », a dit La Bruyère.

Années 1850-1851-1852. *Chagrins de famille.* — Les deux années qui s'écoulèrent, de 1850 à 1852, sont dans la vie de M. de Franqueville extraordinairement tristes. A la fin de 1850, il eut le malheur de perdre sa femme, qui fut enlevée à la suite d'une longue et douloureuse maladie; quelques mois après, son frère Amédée succombait après de vives souffrances. Les lettres adressées à M. de Montricher témoignent du chagrin profond, du véritable découragement que M. de Franqueville ressentait à ce moment. Les inventaires, les règlements d'affaires que la minorité de son fils, son unique enfant, rendent indispensables, lui causent les plus pénibles impressions; tout lui est à charge, et le travail lui-même est impuissant à le détourner de ses tristes pensées.

La situation politique générale du pays était fort pénible; les ministres se succédaient aux travaux publics avec une rapidité désespérante; en moins de quatre ans, M. de Franqueville avait vu douze ministres. Il regardait comme impossible de mener à bien les affaires qui, comme celles des travaux publics, exigent toujours une longue suite dans

les idées et dans les actes; il songea à quitter l'administration des travaux publics et à demander la place d'ingénieur en chef du département de la Seine.

Le respectable M. Boulage, alors secrétaire général, le conjura d'abandonner ce dessein; il lui représenta combien ses fonctions lui convenaient, et combien plus encore il convenait à l'administration; il lui parla des services qu'il rendrait à son pays en restant à son poste. Le retour de M. Magne (21 juillet 1852), d'un ministre qui avait été à deux reprises déjà aux travaux publics, et dont on avait pu apprécier la haute valeur, permettait d'espérer un peu de stabilité. M. de Franqueville se rendit aux raisons qu'inspiraient à M. Boulage la cordialité d'abord, et ensuite un véritable souci du bien du pays, et il ne fut plus question du service du département de la Seine.

Un voyage à Marseille, quelques jours passés auprès de son ami Montricher, achevèrent de remettre M. de Franqueville, et, à la fin de 1852, il reprit son travail avec ardeur.

En parcourant la nombreuse correspondance échangée à cette époque entre M. de Franqueville et ses amis, on est frappé des difficultés de toute sorte que le défaut de moyens de communications rapides apportait dans les événements ordinaires de la vie. On s'est si vite habitué aux chemins de fer et au télégraphe, que l'on oublie ce qui se passait lorsque l'on était privé de ces deux puissants serviteurs de l'homme. Le frère aîné de M. de Franqueville était tombé si gravement malade à Venise, que Mme de Franqueville mère dut se rendre dans cette ville et y appeler son second fils, pour effectuer le transport du malade à Paris. Les lettres succédèrent aux lettres; il fallait attendre quinze jours pour avoir une première réponse. Que s'est-il passé pendant ces quinze jours? Comment sa mère a-t-elle fait seule son voyage de Marseille à Gênes? M. de Franqueville pose avec anxiété ces questions dans sa correspondance; puis

l'indispensable nécessité du retour apparaît; il faut ramener en voiture, de Venise à Paris, un frère gravement malade. A lire ces lettres, on sent combien M. de Franqueville souffrait de cette incertitude et de ces obstacles créés par la distance et le temps.

Au commencement de l'année 1853, la famille de M. de Franqueville reçut un honneur auquel elle fut extrêmement sensible. Le buste de Beautemps-Beaupré fut placé avec une grande solennité dans la galerie principale du dépôt de la marine. Le ministre de la marine et les principaux fonctionnaires du département assistèrent à cette cérémonie. On rappela les immenses et consciencieux travaux de Beautemps-Beaupré, les conseils qu'il avait donnés à plusieurs générations d'ingénieurs, son dévouement au devoir, sa rigide probité. En entendant ces hommages si justement rendus à l'homme qui avait soutenu sa jeunesse, M. de Franqueville fut profondément ému; il ignorait qu'il mériterait un jour lui-même les honneurs rendus à son grand-oncle.

Direction des ponts et chaussées. — Le ministère des travaux publics reçut enfin une organisation plus en rapport avec l'importance qu'il prenait chaque jour. Le 15 novembre 1853, M. le comte Dubois était nommé directeur général des chemins de fer, M. de Boureuille directeur des mines, et M. de Franqueville directeur des ponts et chaussées.

Ce dernier service comprenait :

Les routes et les ponts,
La navigation et les ports,
Le service hydraulique.

Il donnait en outre au directeur le droit de siéger au conseil général des ponts et chaussées.

M. de Franqueville attachait un très-haut prix à cette distinction. Quelques amis regrettaient qu'une direction

générale eût été créée pour une autre personne; il répondit que l'honneur de siéger dans le grand conseil de son corps était une récompense suffisante de ses services.

Années 1853-1855. — Nous n'avons pour ces deux années trouvé rien de saillant, en dehors de ce qui se rattache à la campagne que le nouveau directeur des ponts et chaussées engagea dès le premier jour contre les ponts suspendus, ainsi qu'au canal latéral à la Garonne.

M. de Franqueville estimait que les ponts suspendus, au moins dans les conditions où ils ont été trop souvent établis, ne présentaient pas, au bout d'un petit nombre d'années, des garanties suffisantes pour la sécurité de la circulation, et il poursuivit très-vivement leur remplacement par des ouvrages en pierre ou en métal.

Nous parlerons plus loin du canal latéral à la Garonne. A ce moment, l'opinion publique ne prenait pas grand intérêt aux voies navigables; on se passionnait pour les chemins de fer, sauf à déclarer quelques années après que le perfectionnement de la navigation était le premier intérêt du pays. La correspondance de M. de Franqueville le montre suivant au ministère son travail ordinaire sans grands incidents, lorsque le 12 juillet 1855 l'administration des travaux publics fut réorganisée sur des bases nouvelles. M. de Boureuille reçut, avec le titre de secrétaire général, la direction des mines, de la comptabilité et du personnel de l'agriculture, du commerce et des travaux publics; M. de Franqueville était nommé directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer. Cette organisation a duré vingt et un ans; elle n'était pas parfaite; ce n'est pas le sort des affaires de ce monde, mais de grandes choses ont été accomplies. Nous allons dire la part qui en revient à M. de Franqueville, en donnant cependant auparavant les noms de ceux qui furent ses collaborateurs dévoués de chaque jour.

La direction générale comprenait six services :

La division des routes et ponts, dirigée par M. Challot, avait, dans ses attributions, les routes nationales et départementales, les ponts, la police du roulage et les tramways.

La division de la navigation et des ports, confiée à M. Dumoustier de Frédilly, et plus tard à M. Caulet de Longchamp, était constituée comme en 1838, à l'époque où M. de Franqueville en était devenu titulaire.

La division du service hydraulique avait pour chef M. de Pistoye : elle embrassait les questions relatives aux irrigations, dessèchements, usines, cours d'eau non navigables, à la pêche, au drainage et aux améliorations agricoles.

La division des études et travaux de chemins de fer, successivement dirigée par MM. Delorme et Langlois de Neuville, avait à s'occuper des études et concessions, de la surveillance des travaux des lignes concédées et de l'exécution des lignes construites par l'État.

La division de l'exploitation des chemins de fer, dont le titulaire était M. Tourneux, remplacé ensuite par M. Gilly, comprenait les bureaux de l'exploitation commerciale et de l'exploitation technique.

Enfin, le service de la statistique générale, d'abord réuni dans les mains de M. de Chasseloup-Lamotte, avait été divisé ensuite entre MM. Lucas et Systermans.

III.

Direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer: 1855-1876.

PREMIÈRE PARTIE : 1855-1870.

La situation faite à M. de Franqueville était considérable; mais aussi jamais ingénieur n'avait réuni des qualités plus brillantes et plus solides. Attaché depuis 1838 au ministère des travaux publics, Franqueville s'était rompu aux affaires administratives; directeur des routes et des ponts, des voies navigables et des ports, il connaissait admirablement notre pays, nos ressources et nos besoins; enfin sa merveilleuse aptitude au travail lui permettait de s'assimiler promptement les questions dont il n'avait pas encore fait une étude spéciale, les questions relatives aux chemins de fer.

Situation de l'industrie des chemins de fer. — L'industrie des chemins de fer, il faut le reconnaître, n'était pas encore assise sur des bases bien assurées.

Au 31 décembre 1855, la situation était la suivante :

Longueur des lignes concédées.	11.633 kil.
Longueur des lignes exploitées. . . .	5.533 —

Ces chiffres résument l'œuvre administrative des prédécesseurs de M. de Franqueville; nous verrons plus loin ce qu'elle est devenue entre ses mains.

Cette grande industrie n'avait pas progressé d'une manière continue et régulière; il y avait eu des périodes d'engouement excessif suivies de périodes de profond découragement. Avant de présenter le récit des travaux de M. de Franqueville, il importe de jeter un coup d'œil en

arrière et de rappeler les crises qui, une première fois en 1840, une seconde fois de 1847 à 1851, ont arrêté le développement de nos voies ferrées.

Crise de 1840. — Les premières hésitations qui s'étaient manifestées dans notre pays au sujet des chemins de fer paraissaient dissipées en 1838 et, à la fin de l'exercice, l'ensemble des concessions accordées s'élevait au chiffre, considérable à cette époque, de 1.028 kilomètres. Malheureusement, la confiance ne fut pas de longue durée, et dès 1839 il fallut prononcer la résiliation des concessions de Lille à Dunkerque, de Paris au Havre, de Juvisy à Orléans, et la longueur du réseau se trouva réduite à 574 kilomètres.

Le gouvernement n'hésita pas à proposer aux Chambres de venir au secours d'entreprises si utiles au pays : une somme de 26 millions était prêtée aux compagnies de Strasbourg à Bâle et de Paris à Rouen, et une garantie d'intérêt accordée à la compagnie de Paris à Orléans.

La première crise fut ainsi conjurée et l'on put, pour la première fois, entreprendre une œuvre d'ensemble dont la réalisation reposait sur le concours de l'État et de l'industrie privée. La loi du 11 juin 1842 déclarait d'utilité publique six lignes qui font aujourd'hui partie des principales artères du réseau français ; l'État était autorisé à commencer les travaux, au moins pour l'infra-structure et à donner à bail l'exploitation des lignes à des sociétés qui poseraient la voie et ses dépendances et fourniraient le matériel roulant.

Les années 1843, 1844, 1845 et 1846 furent consacrées à la réalisation de ce programme ; plusieurs grandes compagnies se constituèrent, et au 31 décembre 1846 la longueur totale des lignes concédées s'élevait à 4.952 kilomètres.

Crise de 1847 *à* 1852. — Sur plusieurs points du territoire, l'industrie avait trop présumé de ses forces et, dès

1847, il fallait résilier les concessions de Fampoux à Hazebrouck, de Bordeaux à Cette et de Lyon à Avignon.

La révolution de 1848 rendit la situation plus difficile encore, et la compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon dut à son tour solliciter la résiliation de son contrat. Les actionnaires, en libérant leurs titres, fournirent à l'État les fonds nécessaires à la continuation des travaux, et en 1851 la ligne de Paris à Châlon-sur-Saône put être livrée à l'exploitation; mais aucune concession ne fut accordée, et pendant trois ans la longueur du réseau concédé fut réduite à 3.539 kilomètres.

Concessions de 1852 à 1855. — A partir de 1852 les choses changent complétement; de 1852 à 1855, les compagnies se forment de tous côtés et acceptent *avec enthousiasme*, on l'a dit il y a peu de temps à la tribune, la concession de près de 8.000 kilomètres; au 31 décembre 1855 la longueur des lignes concédées s'élevait, nous l'avons dit, à 11.633 kilomètres.

Premières fusions des compagnies entre elles. — Le réseau concédé en 1851 n'avait pas encore 4.000 kilomètres et il était réparti entre 70 compagnies (*). On ne tarda pas à reconnaître qu'un pareil morcellement était un sérieux obstacle au développement de l'industrie des chemins de fer, et il se fit dans toute la France un travail de fusion des

(*) Au point de vue du nombre, la situation au 31 décembre 1875 des compagnies françaises était la suivante :

Les 6	grandes compagnies ayant ensemble. . .	23.087 kilom.
8	compagnies : Charentes, Vendée, Orléans-Châlons, Clermont-Tulle, Lille-Valenciennes, Sedan-Lérouville, Marmande-Angoulême, Bourges-Gien, Dombes, ayant de 101 à 300 kilomètres, ensemble.	2.380
20	compagnies ayant 100 kilomètres et au-dessous, ensemble.	872
34	compagnies pour un réseau de.	26.339 kilom.

Ces chiffres ne comprennent pas les lignes d'intérêt local.

compagnies entre elles, travail qui a été le point de départ de la constitution de quatre des six grandes compagnies actuelles.

Le 19 février 1852, la compagnie du Nord absorbait la ligne d'Amiens à Boulogne.

Le 27 mars de la même année, la compagnie d'Orléans se fusionnait avec les compagnies du Centre, d'Orléans à Bordeaux et de Tours à Nantes.

En 1853 et 1854, la compagnie de Paris à Strasbourg achetait Montereau à Troyes, Strasbourg à Bâle, Blesme à Gray, et devenait la compagnie de l'Est.

En 1855, la compagnie de l'Ouest était formée par la réunion de six compagnies qui existaient depuis Paris jusqu'aux ports de la Manche.

L'administration approuvait ces fusions, mais en imposant aux compagnies la construction d'un nombre considérable de lignes pour lesquelles elle n'eût jamais trouvé de concessionnaires.

Année 1856. — L'année 1856 fut tout à fait insignifiante au point de vue de l'accroissement du réseau :

En 1855, on avait concédé.	2.483 kil.
En 1856, les concessions n'ont été que de	16 —

Le même fait s'est plusieurs fois présenté; le calme succède à l'effort. Ainsi l'année 1876, comparée à l'année 1875, aura été absolument stérile, tandis que, selon toute apparence, le réseau recevra en 1877 un nouveau développement.

Année 1857. — Les choses changèrent en 1857. Complétement en possession de son service, M. de Franqueville entamait, avec toutes les compagnies, des négociations qui aboutissaient à la concession d'un certain nombre de lignes ayant une longueur ensemble de 2.621 kilomètres.

Lutte entre les chemins de fer et les voies navigables. Canal et chemin de fer du Midi. — Le directeur général

eut à s'occuper, en 1857, d'une question très-importante. Après une lutte qui épuisait les deux parties, les sociétés concessionnaires des chemins de fer du Midi et du canal du Midi avaient conclu un traité de pacification. Soumis à 'approbation du Conseil d'État, ce traité fut rejeté. Cet épisode de la lutte entre les chemins de fer et les voies navigables mérite d'être rappelé : il montre, d'une part, les variations considérables de l'opinion publique dans ces questions, et, d'autre part, l'impartialité du directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer. Sans M. de Franqueville, accusé de partialité en faveur des chemins de fer, le canal latéral à la Garonne eût été comblé.

Nous avons dit plus haut que la concession du chemin de fer de Bordeaux à Cette fut abandonnée en 1846. Le motif de cette résolution si grave était la crainte de la concurrence du canal latéral à la Garonne alors en construction et du canal du Midi en possession depuis longtemps du trafic dans ces riches contrées.

La compagnie perdit d'abord son cautionnement, dont la moitié seulement lui fut restituée en 1853.

Les populations étaient fort émues du retard que subissait l'exécution du chemin de fer, et, le 5 juillet 1851, 53 députés du Midi demandèrent que le canal, ses terrains acquis, ses terrassements exécutés, ses matériaux en approvisionnement fussent livrés à une compagnie qui établirait un chemin de fer dans le fond du canal ou sur ses bords. Quatre cents délibérations des conseils municipaux et des chambres de commerce appuyèrent cette proposition.

Le rapport fait à l'Assemblée législative, après avoir constaté que le ministre des travaux publics s'était opposé de la manière la plus formelle à l'adoption de la mesure réclamée, n'en proposait pas moins la prise en considération.

Ainsi, pour avoir un chemin de fer, on sollicitait la destruction du canal. Plus prévoyante, l'administration supé-

rieure sut trouver un moyen terme : elle donna à une même compagnie la concession du chemin de fer et de la voie navigable, en stipulant pour cette dernière l'application d'un tarif maximum. Le rapport présenté au Corps législatif constatait que la réunion des voies de fer et d'eau avait seule rendu possible la construction du chemin de fer, et il concluait à l'adoption de cette combinaison empruntée à l'Angleterre.

Restait le canal du Midi. La compagnie de ce canal, pour se préparer à la lutte, avait fait un emprunt de 2.400.000 fr., et lorsque le chemin de fer, partant de Bordeaux, atteignit Toulouse en 1856 et Cette l'année suivante, les tarifs qui, depuis l'ouverture du canal latéral et jusqu'en 1855, étaient de 5 centimes et de 4^{c},2, furent abaissés à 2^{c},8 à partir de 1857. Malgré ces réductions énormes, la marchandise abandonnait la voie navigable, et, le 24 juin 1857, la compagnie du canal du Midi passait, avec la compagnie du chemin de fer, un traité d'affermage d'une durée de 99 ans.

L'administration supérieure repoussa ce traité, parce qu'il ne contenait aucune stipulation au point de vue des tarifs, et que sa durée était trop longue. La lutte recommença; elle fut désastreuse pour le canal; ses recettes moyennes tombèrent de 2.417.500 à 778.500 francs, du 1er juin 1857 au 31 mai 1858, tandis que les dépenses d'entretien s'étaient élevées à 823.200 francs. Ce canal ne faisait plus ses frais. L'aliment commercial manquait pour assurer la prospérité d'une double voie. La compagnie du canal fit, auprès de l'administration supérieure, les plus actives démarches, afin d'être préservée de la ruine. Un nouveau traité recut, le 22 juin 1858, l'approbation du Conseil d'État; mais il différait très-notablement du premier : la durée était réduite de 99 à 40 ans; le tarif fixé uniformément à 6 centimes, depuis l'achèvement du canal latéral, était réduit à 6, 4, 3 et 2 centimes, et celui du canal latéral, bien que relevé d'un centime, fixé à 4 et à

5 centimes pour la remonte, 3 et 2 centimes pour la descente.

Ainsi la paix était faite, les deux voies navigables étaient sauvées; le chemin de fer obtenait la suppression d'une concurrence sérieuse; mais, fidèle à la doctrine qu'il n'oubliait pas un instant, M. de Franqueville stipulait en faveur du pays des avantages nouveaux, en réduisant les taxes légales dans les limites que nous venons de faire connaître.

L'opinion publique avait satisfaction, le chemin de fer tant désiré était obtenu; mais on oublie vite en France, quelques années s'étaient à peine écoulées qu'on demandait la séparation des canaux et du chemin de fer, et que l'on reprochait au Gouvernement les combinaisons à l'aide desquelles, désobéissant en quelque sorte aux Chambres, il avait à la fois sauvé le canal et le chemin de fer. Nous ne pouvons entrer dans de plus longs détails sur cette affaire, mais la question revenait sans cesse, et M. Franqueville avait presque toujours dans son cabinet les documents qui la concernaient.

Crise de 1857-1858. — Les lois proposées en 1857 furent votées par les pouvoirs publics et rien ne semblait devoir en arrêter l'exécution, lorsqu'à la fin de l'année survint une crise à la fois financière et commerciale, qui se fit rapidement sentir sur tous les points du territoire. Les conséquences en furent désastreuses. Il y eut à la fois diminution des transports et par conséquent des recettes, et dépréciation du cours des actions. Obligées de suspendre l'émission de leurs obligations ou d'accepter des cours absolument onéreux, les compagnies se trouvaient dans le plus grand embarras, et à la veille d'arrêter les travaux.

Lois présentées en 1859. — La situation était fort délicate. Le Gouvernement pouvait dire aux compagnies qu'elles avaient accepté librement leurs concessions, et

qu'il n'appartenait pas au trésor public de supporter les chances, devenues mauvaises, d'entreprises purement commerciales.

Les compagnies répondaient qu'elles avaient entrepris, avec la plus entière bonne foi, des travaux considérables; qu'elles avaient dépensé en totalité leur capital-actions; que ce capital était représenté par des travaux et un matériel roulant d'une valeur incontestable; que l'État pouvait, s'il le voulait, amener la faillite de plusieurs des compagnies, mais que cela ne lui donnerait pas de chemins de fer; que l'esprit d'association qui avait déjà produit en France de grandes choses, serait pour longtemps et peut-être à jamais découragé; enfin qu'un secours, fût-il momentané, permettrait aux compagnies de traverser la crise, et que l'État trouverait, en avantages directs et indirects, la plus large compensation aux sacrifices qu'il aurait pu faire momentanément.

Ces considérations décidèrent le Gouvernement à venir au secours des compagnies. Il restait à déterminer sous quelle forme on pourrait consolider leur crédit et les aider à trouver les sommes nécessaires à l'achèvement des travaux prévus par les lois de concession.

On ne pouvait songer à des subventions directes en argent, ni même à un prêt, comme on l'avait fait dix-huit ans auparavant pour les compagnies de Strasbourg à Bâle, et de Paris à Rouen. Restait *la garantie d'intérêt.* Ce système ne présentait qu'une éventualité probablement assez éloignée, tandis que la certitude de cette intervention de l'État suffisait pour rassurer les prêteurs les plus timorés.

Garantie d'intérêt. Divisions des concessions en deux réseaux. — On a beaucoup critiqué la garantie d'intérêt accordée aux compagnies de chemins de fer; on a prétendu qu'armées du droit de puiser indéfiniment dans la caisse du trésor public, les compagnies n'avaient plus aucun intérêt à réaliser des économies. Nous ne craignons pas de

le dire, ceux qui formulent ces critiques ignorent à peu près complétement les faits ; nous estimons au contraire que jamais problème financier plus grave n'a été soumis à l'appréciation des pouvoirs publics et n'a été résolu avec une plus profonde sagacité. Il faudrait reproduire textuellement l'exposé des motifs, rédigé presque entièrement par M. de Franqueville, et présenté aux Chambres le 8 février 1859, à l'appui des conventions passées avec les huit compagnies d'Orléans, du Nord, de Paris à Lyon et à la Méditerranée, du Dauphiné, de l'Ouest, de l'Est, des Ardennes et du Midi.

Incidemment, nous formons le vœu de voir un jour réunie dans un même volume la suite des *Exposés* préparés par M. Legrand, par M. de Boureuille et par M. de Franqueville ; cette collection, précieuse à tant de titres, formerait la base de l'histoire de nos travaux publics.

Les exposés rédigés par le dernier directeur général ne portent jamais sa signature ; il ne présentait pas les affaires sous la forme de rapports au ministre ; il s'effaçait toujours volontairement derrière celui-ci ; son travail était rédigé sous forme de rapports du ministre à l'empereur. Les nombreuses conventions passées avec les compagnies de chemins de fer ne mentionnent jamais le nom de M. de Franqueville, et, si elles n'étaient pas écrites de sa main, on pourrait oublier la part qu'il a prise à leur rédaction.

Mais revenons à la crise de 1857, et aux moyens employés pour la conjurer. Après avoir indiqué à grands traits les phases difficiles traversées par l'industrie des chemins de fer, l'auteur de l'Exposé des motifs faisait connaître en quoi consistait le régime de la garantie d'intérêt, que le Gouvernement proposait de créer en faveur des compagnies de chemins de fer.

En premier lieu, la garantie d'intérêt, ou plutôt les sommes à payer par l'État en vertu de cette garantie, étaient accordées, non pas à titre de don, mais à titre de

prêt pendant cinquante années seulement. Ce prêt, portant intérêt simple à 4 p. 100, serait remboursé par les excédants de recettes que l'on était légitimement en droit d'espérer, et, à leur défaut, par la valeur du matériel roulant à la fin de la concession.

En second lieu, la garantie d'intérêt ne s'appliquait point à la totalité des sommes dépensées par les compagnies; une part très-importante de ces sommes (elle s'élève à 2.665 millions de francs) restait absolument en dehors de la garantie de l'État. On divisait, à cet égard, les concessions de chaque compagnie en deux groupes qui prenaient les noms d'*ancien réseau* et de *nouveau réseau*.

L'ancien réseau comprend les artères principales de chaque concession, c'est-à-dire les lignes productives; aucun revenu ne leur est garanti; loin de là, elles sont appelées à soutenir les lignes secondaires.

Le nouveau réseau comprend les lignes auxquelles l'État accorde en principe une garantie d'intérêt. Les huit conventions proposées aux Chambres avaient pour but principal d'assurer l'achèvement de ces lignes, achèvement fort compromis par la crise.

Cette division fondamentale établie entre les lignes d'une même compagnie, la garantie d'intérêt était d'abord fixée à un taux très-inférieur au taux réel d'émission; ensuite, de larges prélèvements effectués sur les recettes des lignes de l'ancien réseau réduisaient, dans une forte proportion, les sacrifices que l'État entendait faire; enfin, la garantie ne s'appliquait qu'à un capital déterminé. Il importe d'entrer dans quelques détails au sujet de ces combinaisons trop peu connues.

Le taux auquel les compagnies avaient pu placer leurs obligations, amortissement compris, variait entre 5,50 et 6 p. 100; on a admis d'une manière générale 5,75 p. 100. L'État n'entendait nullement garantir ce chiffre, il accordait pour l'intérêt et l'amortissement 4,65 p. 100; il fal-

lait donc assurer la différence. C'est à l'ancien réseau de chaque compagnie que cette charge incombait. L'ancien réseau ne se désintéressait donc pas du sort qui attendait le nouveau réseau; il lui constituait, en quelque sorte, une première dotation en prélevant, sur ses propres revenus, une somme suffisante pour payer 1,10 p. 100 (différence entre 5,75 et 4,65) du capital de premier établissement de ce second réseau.

Mais ce sacrifice n'était pas le seul qui fût demandé à l'ancien réseau. L'État n'admettait pas que les dividendes à distribuer aux actionnaires pussent demeurer ce qu'ils étaient avant la crise qui avait frappé les compagnies, ni même s'élever au-dessus d'un chiffre déterminé tant que le Trésor public serait appelé à fournir un subside quelconque. Les conventions fixaient ce que l'on a appelé le revenu réservé de l'ancien réseau; tout ce qui dépassait ce revenu était déversé au second réseau et venait ainsi en atténuation des sacrifices de l'État. L'excédant des recettes réalisées sur des lignes productives servait donc à rémunérer une partie du capital consacré à la construction des lignes improductives.

Enfin, et cette dernière restriction devrait suffire à faire tomber bien des critiques, la garantie d'intérêt ne s'applique qu'à un capital défini dans chaque convention à titre de maximum. Si les dépenses de construction restent au-dessous de ce maximum, l'État n'accorde sa garantie que jusqu'à concurrence du capital dépensé; si les dépenses excèdent le chiffre maximum, les compagnies supportent intégralement les charges de cet excédant de dépenses et l'ancien réseau doit subir cette troisième atténuation de ses produits.

Telles ont été les bases de ces conventions de 1859, aujourd'hui célèbres dans l'histoire des chemins de fer. Au moment où elles furent discutées avec les représentants les plus élevés des compagnies, et parmi ces derniers on

comptait MM. Talabot et Didion, ainsi qu'au moment des négociations relatives au rachat du Grand-Central, la tension d'esprit de M. de Franqueville était à son comble. Les lettres qu'il écrivait à cette époque montrent l'ardeur avec laquelle il poursuivait la solution de ces difficiles problèmes. A l'heure des repas pris en commun avec son fils alors âgé de 19 ans, les réseaux, le déversoir, la garantie d'intérêt formaient l'unique objet de la conversation du directeur général.

Soutenues avec éclat par M. de Franqueville, qui prit la parole dans les séances des 17, 18 et 19 mai 1859, les conventions reçurent l'approbation du Corps législatif, puis celle du Sénat. Elles reposaient sur la plus saine appréciation des faits : l'achèvement du réseau était une nécessité indiscutable et devant laquelle l'État ne pouvait rester indifférent ; cet achèvement était compromis, si l'on ne venait pas au secours des compagnies ; mais ce secours, l'État ne le devait pas, il l'accordait en le faisant payer et payer chèrement.

Nous ne saurions en effet trop insister sur ce point. On a reproché à M. de Franqueville sa prédilection pour les grandes compagnies ; cette prédilection existait, nous le reconnaissons, mais elle reposait sur une pensée unique : le développement du réseau français. M. de Franqueville estimait que les grandes compagnies seules pouvaient mener à bien la construction d'un réseau qu'on ne prévoyait pas devoir dépasser 20.000 kilomètres et qui ne tardera pas à en avoir 30.000.

Pour obtenir des compagnies ces grands résultats, M. de Franqueville cherchait volontiers les moyens de soutenir leur crédit et de leur venir en aide, sans jamais oublier les intérêts de l'État. Les cahiers des charges ont été plusieurs fois modifiés, et il n'y a pas une modification au contrat primitif qui n'ait été payée par les compagnies au prix de sacrifices nouveaux et fort importants.

Ainsi, en 1859, les compagnies qui trouvaient bien lourd le fardeau que leur imposaient les lois antérieures, non seulement acceptent la concession de près de 600 kilomètres de lignes nouvelles improductives, mais elles admettent des modifications profondes à leurs cahiers des charges. Les militaires et marins, qui payaient moitié du tarif, voyageront désormais au quart; les transports de la poste, qui étaient payés sur diverses lignes, cesseront de l'être à une époque fixée; le partage des bénéfices prévu lorsque les actions recevront 8 p. 100 est stipulé pour certaines lignes dès que la rémunération du capital atteindra seulement 6 p. 100.

Vérification des comptes des compagnies. — Voté par les Chambres en 1859, le régime de la garantie d'intérêt constituait une véritable association entre l'État et les concessionnaires; il importait d'établir des règles précises pour la vérification de la comptabilité des compagnies. Des règlements d'administration publique, préparés par M. de Franqueville, furent successivement promulgués et ils reçoivent, depuis 15 ans, une application journalière.

On a dit à la tribune de l'Assemblée nationale que les comptes des grandes compagnies n'étaient ni vérifiés, ni vérifiables; que, maîtresses du trafic, les compagnies dirigeaient les marchandises sur les lignes de l'ancien réseau pour augmenter leurs dividendes au détriment de l'État. Tout cela est profondément inexact et dénote une complète ignorance du mécanisme des conventions. Les comptabilités des compagnies sont vérifiées, dans le plus grand détail, par les inspecteurs des finances; les frais de premier établissement sont arrêtés après la plus minutieuse instruction; enfin les commissions de vérification, composées d'inspecteurs généraux des ponts et chaussées, des mines et des finances, de représentants de la Cour des comptes et de fonctionnaires de l'ordre le plus élevé du ministère des finances, présidées par deux présidents de section au Con-

seil d'État, dont les noms inspirent le plus grand respect, MM. Aucoc et Goussard, statuent, sauf recours au Conseil d'État, sur les difficultés que pourrait soulever une aussi vaste opération.

Quant au détournement de trafic, il serait absolument inutile, puisque le revenu ne peut dépasser un chiffre invariable tant que la garantie de l'État fonctionne.

Concessions de 1859 *à* 1870. — La formule de la garantie d'intérêt une fois établie, le réseau français reçut de rapides développements, ainsi que le montre le tableau ci-après, qui résume les longueurs à la fin de chaque exercice :

Longueur totale au 31 décembre	1859.	14.758 kilom.
Id.	1860.	14.974
Id.	1861.	15.960
Id.	1862.	16.785
Id.	1863.	19.315
Id.	1864.	20.134
Id.	1865.	20.550
Id.	1866.	20.559
Id.	1867.	20.737
Id.	1868.	21.105
Id.	1869.	22.054
Id.	1870.	22.668

Le réseau français augmenté de 660 kilomètres par an, voilà l'œuvre de M. de Franqueville pendant les douze premières années de sa direction.

Les principes des contrats nouveaux étaient ceux inscrits dans la convention de 1859; mais les compagnies, en échange de modifications qu'elles réclamaient, consentaient encore à l'établissement d'une quatrième classe pour le transport des marchandises encombrantes; la taxe kilométrique uniforme de $0^{f},10$ était remplacée par la taxe différentielle de 8,5 et 4 centimes pour la houille, les pierres, les minerais et quelques autres marchandises.

Si l'on songe que les prix insérés dans les cahiers des charges sont prévus pour une durée de 99 ans, et si, comme tout l'indique, la valeur du signe monétaire va toujours en décroissant, la substitution d'une taxe de 4 centimes à celle de 10 est une modification dont nos enfants apprécieront l'importance.

Deux récompenses exceptionnelles furent accordées à M. de Franqueville : en 1863 il était nommé inspecteur général de 1re classe, et en 1868 grand officier de la Légion d'honneur. Bien peu de fonctionnaires civils reçoivent cette dernière distinction ; elle n'avait jamais été mieux méritée.

Conseil d'État. — Pour ne pas interrompre notre récit des crises subies par l'industrie des chemins de fer et des mesures prises successivement, nous n'avons pas mentionné la nomination faite, le 19 septembre 1857, de M. de Franqueville comme conseiller d'État hors section. Ses lettres montrent qu'il appréciait très-haut cette récompense de ses services; c'était pour lui « le bâton de maréchal »; mais il se préoccupait modestement des devoirs nouveaux qu'il allait avoir à remplir. L'idée de prendre la parole devant les Chambres le troublait véritablement. La situation faite aux conseillers d'État chargés de défendre les projets de loi était d'ailleurs fort délicate; leurs réponses pouvaient engager le Gouvernement, tandis que les véritables représentants de celui-ci, les ministres, de par la Constitution, étaient obligés de garder le silence.

M. de Franqueville eut recours à son moyen favori, l'étude; il creusait tellement toutes les affaires qu'il était presque impossible de le prendre à l'improviste. Il prit la parole pour la première fois le 29 avril 1858, à la Chambre des députés, dans une discussion relative à la navigation de la Marne et de la Moselle. Sa parole était très-correcte, mais précipitée : il faisait le désespoir des sténographes : « Il arrive fréquemment, disait un journal, jusqu'à 26, « jusqu'à 27 lignes par minute, et des lignes terribles en-

« core, des lignes bourrées de faits, de dates, de chiffres, « de noms propres. »

Très-assidu aux séances du Conseil d'État, M. de Franqueville prenait part à toutes les discussions relatives aux travaux publics; mais jamais il n'ouvrit la bouche sur une question étrangère à son service; il ne l'avait pas assez étudiée, pensait-il. Notre pays serait bien heureux si tous les orateurs imitaient cette sage réserve.

L'appréciation technique donnée par les sténographes des discours de M. de Franqueville est très-exacte; ce ne sont point, à proprement parler, des discours, ce sont des exposés de faits précis; la preuve est, en quelque sorte, derrière chaque énoncé : les conclusions arrivent naturellement, et l'orateur a accompli sa tâche.

Session législative de 1865. — Malgré sa répugnance à parler en public, répugnance telle qu'il priait ses amis de ne jamais venir l'entendre, M. de Franqueville dut prendre fréquemment la parole dans la session législative de 1865, notamment le 22 mars sur l'affaire du canal de Saint-Dizier, le 15 et le 20 mai sur la pêche et les associations syndicales, les 14, 20, 21 et 27 juin sur les inondations, sur les phares, sur la navigation intérieure, sur les rues de Paris, sur les canaux, sur les chemins de fer, le 2 juillet sur les tarifs.

Discours du 21 *juin* 1865.— Le discours du 21 juin 1865 est le plus important de tous ceux qui ont été prononcés par M. de Franqueville; pour un homme plus ambitieux que lui, c'eût été un véritable discours-ministre, pour employer le langage parlementaire. Il s'agissait du régime général des chemins de fer. La manière dont ils étaient exploités, le système de la garantie d'intérêt avaient été l'objet de vives attaques; M. de Franqueville répondit à chacune d'elles avec une grande vigueur et une grande netteté.

En ce qui concernait l'exploitation, il démontra d'une manière irréfutable qu'il n'y avait pas de système plus dé-

mocratique et plus égalitaire que celui qui a été adopté pour la fixation des tarifs. Il rappela que les traités particuliers, que les tarifs d'abonnement avaient été successivement supprimés (les nations commerçantes et industrielles comme l'Angleterre ne comprennent pas les idées qui ont cours en France à ce sujet) ; il ne subsistait que le tarif pur et simple du prix fixé à la tonne, sauf pour quelques marchandises encombrantes, la clause du wagon complet. Les tarifs étaient perçus selon la distance ; s'ils étaient différentiels, ils décroissaient avec la distance à parcourir ; mais jamais les parcours intermédiaires ne pouvaient être taxés plus haut que le parcours total : c'est ce qu'en langage technique on appelle *la clause des stations non dénommées.*

Au point de vue de la vitesse, M. de Franqueville fit observer avec beaucoup de raison que cet avantage devait se payer. Pour la presque totalité des marchandises de petite vitesse, les compagnies françaises offrent au public deux prix : l'un correspondant à une vitesse assez grande, l'autre à une vitesse beaucoup moindre, mais compensée par un très-fort abaissement du prix. Il est sans exemple qu'en France la préférence soit donnée au prix le plus haut. Ce que l'on veut dans notre pays, c'est le bon marché ; en Angleterre, au contraire, on veut la vitesse. Sans doute, il serait désirable de pouvoir réunir la vitesse et le bon marché ; mais ce sont deux choses souvent inconciliables.

En stipulant des délais supplémentaires, les compagnies françaises entendent seulement se précautionner contre des demandes d'indemnité en cas de retard, et M. de Franqueville produisit à la tribune un document fort intéressant :

Sur 578 expéditions de marchandises de Marseille sur Paris faites dans un intervalle de 10 journées,

27, soit 4 1/2 p. 100, s'étaient effectuées dans un délai plus long que les délais réglementaires ;

54, soit 9 1/2 p. 100, s'étaient effectuées dans les délais;

497, soit 86 p. 100, avaient été transportées dans des délais plus courts.

Passant ensuite à l'examen du système financier, M. de Franqueville relevait d'abord l'aveu échappé à ses contradicteurs que les conventions de 1858 et de 1859 avaient assuré l'achèvement du réseau national, *achèvement qui, sans ces conventions; eût été absolument compromis.*

Cet avantage considérable avait-il été payé trop cher? C'est ce qu'il fallait examiner.

Prenant alors la situation de chaque compagnie, M. de Franqueville examinait ce que devait être la garantie d'intérêt pour le présent et pour l'avenir; sans dissimuler les difficultés de tout genre que pouvaient présenter des évaluations de cette nature, M. de Franqueville estimait qu'en 1870 le chiffre total de la garantie d'intérêt s'élèverait à. . . . . 44 millions;

En 1871, à. . . . . 47 —
En 1872, à. . . . . 48 ou 50 —
En 1875, à. . . . . 34 —

A cette époque, disait le directeur général, le réseau sera terminé; en supposant un accroissement annuel de 1 1/2 p. 100, les garanties iront en décroissant jusqu'en 1885, et, à partir de cette époque, commencera pour l'État la période du remboursement des avances faites aux compagnies.

L'expérience a prononcé. Jusqu'en 1873 et 1874, malgré les désastres de 1870 et 1871, les prévisions de M. de Franqueville se sont réalisées, et la libération des compagnies eût commencé en 1885, si l'on n'eût pas modifié de la manière la plus grave la base fondamentale admise par M. de Franqueville : *l'achèvement du réseau en* 1875. Au lieu de s'arrêter et de se reposer quelques années, on a voulu marcher toujours et marcher plus vite; plusieurs

milliers de kilomètres improductifs ont été ajoutés au réseau. Il ne faut pas s'étonner si les sacrifices de l'État iront en croissant et si l'époque du remboursement des avances va en s'éloignant de notre horizon financier.

En terminant le discours dont nous ne pouvons donner qu'une froide analyse, M. de Franqueville insistait sur des considérations trop peu connues, le rapport entre le capital donné par l'État à titre de subvention et les avantages directs et indirects que l'État retirait de l'exécution des chemins de fer. D'une part, l'État encaissait des impôts dont le chiffre allait croissant chaque année; d'autre part, il réalisait dans ses dépenses des économies considérables : les transports militaires payés au quart du tarif, les transports postaux effectués gratuitement représentaient des sommes énormes. En réunissant tout cela, l'État, si l'on dressait un compte de banque, avait placé son argent à plus de 7 1/2 p. 100. On ne faisait pas, bien entendu, entrer en ligne de compte la prospérité générale que l'exécution des chemins de fer apportait au pays, prospérité dont le Trésor public recueillait les premiers fruits.

C'était, nous ne craignons pas de le dire, une bonne fortune pour les représentants du pays d'entendre, exposés à la tribune avec une pareille lucidité, avec une loyauté parfaite, les plus grands problèmes économiques. Le discours de M. de Franqueville eut un succès incontesté; imprimé par ordre du ministre des travaux publics, il fut adressé à tous les ingénieurs.

Loi sur les chemins de fer d'intérêt local. — Le discours dont nous venons de rappeler les parties principales avait été prononcé dans la discussion relative à la loi des chemins de fer d'intérêt local. Cette loi fut promulguée le 12 juillet 1865. Elle répondait à un désir très-vif formulé par les départements de voir construire de nouvelles lignes. On avait proclamé la nécessité de créer des chemins de fer qui desserviraient, soit des centres de population de mi-

nime importance, soit des mines de houille et de fer, des carrières, de grandes usines. On exaltait outre mesure la construction en Alsace de petits chemins de fer n'ayant de vicinal que le nom, et qui n'avaient pu être achevés qu'à la condition d'être englobés dans le second réseau de la compagnie de l'Est, au même titre que la ligne de Paris à Mulhouse. La loi nouvelle renouvelait une tentative déjà ancienne d'assurer la construction des lignes secondaires par le concours des intéressés, des communes, des départements et de l'État; des précautions particulières étaient prises pour que, avant le commencement des travaux, l'exploitation fût assurée. Avec ces restrictions, l'exécution d'un certain nombre de chemins de fer était possible. Les départements de la Meurthe, des Ardennes, des Vosges, de la Meuse, donnèrent l'exemple et votèrent la construction d'une dizaine de petites lignes qui sont exploitées par la compagnie de l'Est.

Mais on pouvait redouter l'abus qui serait fait de ces concessions, et M. de Franqueville ne cachait pas les craintes qu'il ressentait à ce sujet et qui n'ont été que trop justifiées par la crise survenue après une application de moins de dix années. Il lui semblait difficile de bien distinguer un chemin d'intérêt local d'un chemin d'intérêt général, et il redoutait les difficultés qui se sont si rapidement produites. D'un autre côté, les chemins de fer sont, en temps de guerre, appelés à rendre au pays de trop grands services pour que l'État demeure absolument étranger à leur exploitation; l'existence d'une série de petites entreprises presque ignorées de l'administration centrale, ne disposant que d'un très-faible matériel roulant, peut donner lieu à d'assez grandes complications. On ne peut prévoir l'emploi des lignes secondaires pour des mouvements militaires importants qu'à la condition de les supposer absorbées par les grandes exploitations voisines. Quelles seront les conséquences de cette absorption même

momentanée? Il était, il est toujours difficile de le dire. En un mot, M. de Franqueville estimait que l'État seul doit créer des chemins de fer, qu'à cet égard les idées de décentralisation dépassent le but, et que la loi de 1865 doit être profondément remaniée.

Travaux du service des ponts et chaussées. — Les préoccupations que la solution de la question des chemins de fer imposait à M. de Franqueville, ne lui faisaient point oublier les autres parties du grand service dont il était chargé.

Chaque année, des lois importantes étaient présentées pour obtenir des pouvoirs publics les fonds nécessaires à l'achèvement des routes nationales et des grands ponts, des canaux et des travaux sur les rivières, des ports de commerce et des phares.

Le service hydraulique recevait, en même temps, la plus vigoureuse impulsion; les Chambres étaient saisies de lois relatives à l'assainissement des Dombes et de la Sologne, de la Brenne, de la Camargue, à la création de routes agricoles dans les landes de Gascogne, au développement du semis dans les dunes, au drainage et aux associations syndicales, etc., etc.

Nous ne saurions, sous peine d'allonger démesurément cette notice, analyser chacune de ces lois. En parlant du dernier budget préparé par M. de Franqueville, celui de 1877, nous montrerons avec quelle ampleur de vue les besoins du pays étaient appréciés par le directeur général. Nous nous arrêterons seulement quelques instants à une grave question au sujet de laquelle, sous l'administration de M. de Franqueville, il a été pris des mesures très-importantes: nous voulons parler des travaux destinés à prévenir les ravages des inondations.

Travaux destinés à prévenir les ravages des inondations. — La constitution du réseau des chemins de fer en France et la lutte contre le fléau des inondations paraissent avoir

été l'objet de la pensée constante de M. de Franqueville ; son fils a retrouvé, dans ses papiers particuliers, deux notes écrites de sa main : la première, relative aux garanties d'intérêt ; la seconde, aux inondations ; elles portent les dates du 28 avril et du 15 mai 1876. Obéissait-il à une sorte de pressentiment en résumant sur le papier des souvenirs qui embrassent une longue période de temps? C'est ce que personne ne saurait dire.

Nous avons déjà, au sujet des chemins de fer, parlé des dernières études faites par M. de Franqueville sur les garanties d'intérêt ; il nous reste à parler du travail sur les inondations.

Le fléau des inondations semble sévir d'une manière périodique sur la France, et les années 1846, 1856, 1866, 1875 et 1876 sont des dates qui resteront gravées dans la mémoire des populations.

En 1846, le bassin de la Loire fut seul atteint ; mais en 1856, les inondations eurent un caractère de violence et de généralité sans exemple jusqu'alors. 55 départements eurent à souffrir du débordement des eaux, les pertes éprouvées par 429.724 sinistrés furent évaluées à la somme énorme de 178 millions.

L'administration supérieure ne pouvait rester indifférente devant de pareils désastres, et le 26 juillet 1856, un service d'études fut organisé pour chacun des quatre grands bassins de la Loire, du Rhône, de la Garonne et de la Seine.

Les ingénieurs des ponts et chaussées se mirent à l'œuvre avec le dévouement auquel le pays est depuis longtemps habitué ; des travaux considérables furent adressés à l'administration. Résumés par les inspecteurs généraux placés à la tête de chacun des services, les rapports des ingénieurs ont été devant le conseil général l'objet de longues discussions qui aboutirent aux conclusions suivantes :

« Les inondations des grands fleuves ne peuvent être ni

« supprimées, ni même atténuées dans une mesure suffi-
« samment utile par la création de réservoirs artificiels (*)
« qui arrêteraient dans les régions supérieures du bassin
« une partie du volume des eaux.

« Le système d'endiguement général prétendu insubmer-
« sible, présente de graves inconvénients et ne saurait
« donner, en aucun cas, une garantie complète de sé-
« curité (**).

« On peut, à l'aide de défenses directes et locales, mettre
« les grands territoires submersibles, et avant tout les
« villes et les principaux centres de population établis
« dans les vallées, à l'abri des ravages auxquels les crues
« les exposent aujourd'hui. »

Ces conclusions prudentes furent adoptées par le Gouvernement et par les Chambres, et un crédit de 50 millions fut mis à la disposition des ingénieurs pour préserver 36 villes des inondations.

La loi du 28 mai 1858 a reçu la plus large et la plus heureuse exécution : le nombre des villes protégées a été porté à 50 sans dépasser la limite des crédits fixés; parmi ces villes, il faut citer :

Lyon, Givors, Avignon, Beaucaire, Tarascon, Arles, Grenoble, Annonay;

Saint-Étienne, Nevers, Moulins, Vichy, Blois, Amboise, Tours, Angers;

Périgueux, Condom, Aiguillon, Agen;

Troyes.

Sur la Garonne, l'administration avait projeté l'exécu-

(*) La dépense à faire pour la création d'un premier groupe de réservoirs était évaluée à 400 millions.

(**) Tous les ingénieurs connaissent les levées de la Loire, dont le plus grand nombre paraît dater des XI[e] et XII[e] siècles; leur couronnement, fixé à 5 mètres au-dessus de l'étiage, atteint aujourd'hui 8 mètres, non compris une banquette supplémentaire de 1 mètre établie à la suite de la crue de 1846; elles sont aujourd'hui insuffisantes sur plusieurs points.

tion de travaux pour la protection du faubourg Saint-Cyprien ; la ville de Toulouse ne crut pas devoir s'associer à l'exécution de cette entreprise ; elle a dû le regretter amèrement en 1875.

Tous les travaux dont nous venons de parler étaient à peu près achevés, lorsque survint la crue de 1866 qui n'a causé aucun dommage aux villes protégées par les nouveaux ouvrages.

Le système de défense adopté par le conseil général des ponts et chaussées doit donc être admis avec reconnaissance par le pays, et un progrès considérable a été réalisé. Sans doute, on ne supprimera pas les inondations ; mais si l'on protége les villes d'une manière complète, si les anciennes digues sont bien défendues, si partout ailleurs on laisse l'eau monter lentement en se contentant de garantir les plaines riveraines contre les crues ordinaires qui sont les plus fréquentes et en définitive les plus dommageables, on aura, dans la lutte contre les inondations, atteint la limite du possible.

Conseil supérieur du commerce, de l'agriculture et de l'industrie. — En 1869, M. de Franqueville fut nommé membre du conseil supérieur du commerce, de l'agriculture et de l'industrie. Jusqu'à sa mort il prit une part active aux délibérations de cette assemblée. On peut deviner la modération de ses idées en matière d'économie politique : ni libre échange absolu, ni protection absolue. On devait, selon lui, étudier de la manière la plus complète la situation de chaque industrie, se rendre compte des ressources que lui offrait le pays au point de vue des matières premières et des débouchés, puis établir les droits de douane de façon à permettre la concurrence sans donner à l'industrie étrangère les moyens d'anéantir une industrie nationale. L'étude approfondie avant toutes choses, puis la modération dans la pratique ; avec un pareil programme, on peut aborder toutes les questions.

Règlement de l'affaire franco-belge. — Nous venons de dire que M. de Franqueville pouvait aborder toutes les questions. Il fut, dans cette même année 1869, chargé d'une véritable mission diplomatique. Il s'agissait de régler le conflit qui s'était élevé entre la Belgique et la France, au sujet de la cession d'un chemin de fer belge à une compagnie française. Il a été dit, sur cette affaire, les choses les plus extraordinaires ; nous tâcherons de rappeler sommairemen les faits.

La compagnie des chemins de fer de l'Est avait, depuis près de dix ans, l'exploitation d'un réseau luxembourgeois et belge qui, partant de notre ancienne frontière vers Thionville, aboutissait à Spa et à Pepinster, entre Liége et Verviers ; elle était donc en relation directe et journalière avec plusieurs chemins de fer belges.

En 1868, deux sociétés, — l'une, la société générale d'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais ; — l'autre, la grande compagnie du Luxembourg belge, qui étaient toutes deux dans une situation financière fort précaire, demandèrent à la compagnie de l'Est de prendre à bail, la première une ligne allant de Liége en Hollande, la seconde tout son réseau comprenant la ligne de Bruxelles à Arlon, et un embranchement sur Liége. La société Néerlandaise accordait à la compagnie de l'Est le droit de conduire ses trains jusqu'à Amsterdam et à Rotterdam.

Après une longue étude, ces propositions furent accueillies par la compagnie de l'Est ; mais, avant d'être converties en traités, elles devaient être soumises au ministre des travaux publics et au directeur général des chemins de fer. Celui qui écrit ces lignes fut chargé de cette communication. Il s'agissait d'assurer au réseau de l'Est, sur 500 à 600 kilomètres, le transit qui s'échange entre les ports de la mer du Nord et la Suisse ; l'administration des travaux publics donna à cette combinaison le plus complet assentiment. Les négociations furent reprises et les traités si-

gnés; on en préparait les copies (il y avait un très-grand nombre de pièces annexes), lorsqu'une vive et subite émotion s'empara de la Belgique. On vit dans cette affaire purement commerciale une véritable tentative d'annexion faite par le Gouvernement français. L'arrivée à Bruxelles et à Anvers de modestes agents appartenant à une compagnie française fut signalée comme un danger public; il y avait, depuis de longues années, des employés des compagnies du Nord et de l'Est, mais on ne raisonnait plus. On fit une loi de salut public contre les compagnies de chemins de fer et l'incident franco-belge devint une question internationale de premier ordre.

Après de longs pourparlers, le règlement de cette affaire fut confié à une commission nommée par les deux gouvernements.

Les commissaires belges étaient :

MM. Fassiaux, directeur général des postes, chemins de fer et télégraphes;

Van der Sweep, inspecteur général des chemins de fer,

Et Belpaire, ingénieur en chef, directeur de la traction et du matériel.

Les commissaires français :

MM. Cornudet, président de section au Conseil d'État;

De Franqueville, directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer;

Combes, inspecteur général des mines.

Les réunions eurent lieu à Paris dans le cabinet de M. de Franqueville. On dit que le langage diplomatique comporte des réticences, des sous-entendus, cela est possible. En tout cas, M. de Franqueville ne s'en préoccupa guère. Dès la première séance, il prit véritablement la direction des débats, et la netteté de ses explications, la franchise de ses déclarations firent sur ses honorables contradicteurs, nous le tenons d'eux-mêmes, la meilleure impression. Après plusieurs séances employées à dissiper

des malentendus, une modeste convention d'exploitation (il n'était plus depuis longtemps question des traités primitifs), vint fixer les relations entre la compagnie de l'Est, la société du Grand-Luxembourg et le chemin de fer de l'État.

Pendant le cours de ces négociations, M. de Franqueville avait, sur le désir du Gouvernement français, longuement expliqué la question au représentant de l'Angleterre, lord Lyons, et lui en avait indiqué le véritable point de départ, la détresse de deux compagnies de chemins de fer réclamant le concours d'une compagnie française avec laquelle elles avaient d'anciennes relations. Privées par la politique de ce concours, les deux sociétés ont dû s'adresser à leurs gouvernements; les contrats de la société Néerlandaise ont été récemment revisés, et en 1872 l'État belge a racheté la grande compagnie du Luxembourg; seulement il a payé un prix double de celui stipulé dans le traité de 1868 avec la société française.

Conseil général de la Côte-d'Or. — Les propriétés de Mme de Franqueville étaient situées dans la Côte-d'Or, dans l'arrondissement de Semur. Plusieurs électeurs demandèrent à M. de Franqueville de les représenter au conseil général. Il avait au sujet, non pas des fonctions dues à l'élection, mais au sujet des démarches que comporte souvent une élection, les plus vives répugnances, et il se sentait absolument incapable de solliciter des suffrages. On ne put le décider à aller dans la Côte-d'Or au moment des élections, et il se contenta d'envoyer une circulaire. Il fut élu en 1858, réélu en 1861 et nommé la même année vice-président du conseil général. Il prit, pendant douze ans, de 1858 à 1870, part aux délibérations de ce conseil que présidait avec tant de finesse et de bonhomie le regretté maréchal Vaillant: sa grande expérience, son amour du bien public furent appréciés de tous ses collègues.

Les séances du conseil général fatiguaient beaucoup

M. de Franqueville; elles absorbaient une partie des courtes vacances dont il avait le plus grand besoin. Ce n'est pas la peine de quitter mon bureau de Paris, écrivait-il à ses amis, pour retrouver à Dijon des commissions, des séances, des dîners officiels. En 1870, il fallut recourir aux plus vives instances pour le décider à poser de nouveau sa candidature. Il ne fut pas réélu. Son concurrent, M. le comte de Guitaut, qui eut sur lui 150 voix de majorité, s'excusait dans sa circulaire de se présenter contre l'homme véritablement éminent qui avait représenté le canton, et qui ne pouvait mériter qu'un reproche, celui de ne pas visiter souvent le pays.

Questions relatives au personnel du corps des ponts et chaussées. — M. de Franqueville n'avait pas dans ses attributions le service du personnel, et plusieurs fois il le regretta; il avait au plus haut point ce que l'on appelle l'esprit de corps, et tout ce qui nous intéressait le touchait véritablement au cœur.

Dans sa pensée, tous les travaux publics auraient dû être confiés aux ingénieurs des ponts et chaussées; sur cette seule question, il fut en désaccord complet avec l'homme dont il n'a jamais cessé de respecter la mémoire, M. Legrand. La création dans les départements d'un service de chemins vicinaux distinct du service des ingénieurs avait été pour lui une cause de regrets persistants, et chaque fois qu'un conseil général réunissait tous les services, il éprouvait une grande joie. Il voyait avec une véritable fierté les pays étrangers, les compagnies de chemins de fer, les administrations municipales, les grandes Écoles du gouvernement, la commission de l'Exposition universelle de 1867 réclamer le concours des ingénieurs de l'État; il savait à M. Haussmann un gré infini d'être entré si largement dans cette voie et d'avoir confié la transformation et l'assainissement de Paris à un groupe d'ingénieurs éminents pris dans notre corps.

Sans méconnaître ce que les idées de décentralisation avaient de bien fondé, M. de Franqueville estimait que ces idées ne comportaient pas la diminution des attributions des ingénieurs des ponts et chaussées; il combattit de toutes ses forces les mesures ayant pour objet de leur enlever le service des routes départementales, et il réussit à leur donner la surveillance du drainage, le service de la pêche dans les cours d'eau non navigables ni flottables; il engagea, à ce sujet, une lutte des plus vives contre l'administration des forêts; il combattit également avec une grande énergie les députés qui proposaient d'enlever aux travaux publics le service des phares et de le donner au département de la marine.

Mais s'il se montrait si jaloux d'augmenter l'importance des droits que les ingénieurs des ponts et chaussées pouvaient revendiquer dans l'exécution de tous les travaux publics du pays, le directeur général leur recommandait de mériter cette situation par des efforts constants. A la probité parfaite, à la dignité de la vie, à l'instruction scientifique et littéraire, littéraire surtout, il fallait joindre l'aménité, la facilité dans les relations. Jamais il ne manquait une occasion de recommander aux jeunes ingénieurs de ne point se montrer *raides* dans leurs rapports, soit avec le public, soit avec les autorités locales. Les ingénieurs ont sans cesse à prendre part à des conflits de l'intérêt public avec les intérêts privés; ils doivent être animés du plus grand esprit d'équité, et la ferme défense des intérêts de l'État peut se concilier parfaitement avec la déférence due aux représentants des intérêts opposés.

M. de Franqueville savait, à un haut degré, allier l'aménité à la dignité professionnelle. Plusieurs fois consulté par l'Empereur sur des questions de travaux publics, sur des inventions qui trouvaient souvent aux Tuileries un accueil trop facile, M. de Franqueville fut presque toujours en désaccord avec son haut interlocuteur. Sans parler des

machines présentées par des inventeurs qui ne comprenaient pas que leur réalisation supposait le mouvement perpétuel, le directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer eut à combattre les idées émises par l'Empereur sur les moyens de prévenir les inondations, sur la création d'un second chemin de fer de Cette à Marseille, sur les caisses d'assurances agricoles, sur le second chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne.

Le nom de M. de Franqueville fut à plusieurs reprises indiqué pour le portefeuille des travaux publics et repoussé *parce qu'il était trop ingénieur.*

IV.

Direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer : 1855-1876.

DEUXIÈME PARTIE : 1870-1876.

Nomination à la vice-présidence du conseil général des ponts et chaussées. — Nous arrivons à la triste année 1870. Elle avait mal commencé. Si les désordres de la rue étaient apaisés, il régnait, dans les esprits, un trouble presque général. M. de Franqueville avait soixante ans; il sentait le besoin, non pas de se retirer et de se reposer d'une manière absolue, mais de trouver une situation plus calme et moins militante. Deux circonstances favorables se présentaient à la fois qui semblaient devoir rendre facile la réalisation de ce désir. M. de Franqueville pouvait, en quelque sorte, le même jour, remplacer M. l'inspecteur général Gayant à la vice-présidence du conseil des ponts et chaussées, et être remplacé lui-même à la direction générale par un ingénieur qui avait la confiance de tous, — j'ai nommé Maniel.

Après avoir occupé pendant treize années, avec une incomparable autorité, le fauteuil de la vice-présidence du conseil général, M. Gayant allait, au mois d'août, être atteint par l'inexorable limite d'âge. Personne ne pouvait, pour lui succéder, invoquer un passé comparable à celui de M. de Franqueville, qui devenait d'ailleurs ce jour-là le doyen des inspecteurs généraux de première classe et par conséquent du corps tout entier.

D'un autre côté, en se préoccupant du choix de son successeur, M. de Franqueville obéissait à une pensée qui agite souvent les hommes vraiment dignes des grandes situations, la pensée d'assurer la continuation de son œuvre. Successivement ingénieur en chef des travaux de la compagnie du Nord français, directeur général de la grande société autrichienne des chemins de fer de l'État, Maniel était revenu en France, où il était secrétaire du conseil des ponts et chaussées. Gendre de M. Legrand, il avait, comme celui-ci, comme M. de Franqueville, débuté par la mission d'élève au conseil; il avait toutes les traditions de famille et d'administration; il savait écrire et parler; jamais situation n'avait été plus indiquée, et Maniel devait succéder à M. de Franqueville comme celui-ci avait succédé à M. Legrand.

La première partie de ce programme seule reçut un commencement d'exécution; une décision ministérielle du 10 août 1870 nommait M. de Franqueville à la vice-présidence du conseil des ponts et chaussées, en remplacement de M. l'inspecteur général Gayant arrivé au terme de ses fonctions.

Malheureusement, au 10 août, il n'était plus question de se reposer; aucun des ministres qui se succédèrent, aussi bien M. Jérôme David que M. Dorian, ne voulurent entendre parler du départ du directeur général. Ils le supplièrent de rester à son poste, étant bien entendu qu'il conservait sa nomination à la présidence du conseil général et qu'il

prendrait cette nouvelle fonction lorsque des temps plus calmes seraient revenus. La mort si malheureuse de Maniel, survenue le 23 avril 1871 à Versailles, la gravité des devoirs imposés à M. de Franqueville, ne lui ont point permis de prendre le repos qui lui était si nécessaire, et le fauteuil de M. Gayant fut occupé par M. Collignon.

Guerre de 1870-1871. — Dès le jour de la déclaration de guerre, les anxiétés de M. de Franqueville furent terribles. Il savait combien l'Allemagne était prête à la lutte et combien nous l'étions peu. Il m'avait demandé à cette époque de le voir aussi souvent que possible; presque tous les jours je montais à son cabinet et lui montrais les dépêches que nous recevions du personnel dévoué de nos gares de l'Est. Il suivait, avec la plus vive préoccupation, les transports qui s'exécutaient sur les voies ferrées, souvent dans les conditions les plus difficiles et les plus imprévues.

Lorsque les compagnies des chemins de fer de Lyon et de l'Est eurent effectué, par Dijon et Paris, par Langres et Saint-Dizier, le grand mouvement tournant qui ramenait à Reims les trois corps d'armée Mac-Mahon, Douai et de Failly; lorsque plus tard la compagnie du Nord eut transporté à Paris le corps d'armée Vinoy, M. de Franqueville, revenant à ce qui était la pensée de toute sa vie, la constitution du réseau français, nous disait : « J'espère qu'on ne nous parlera plus du morcellement du réseau et de la formation de petites compagnies; le second jour de la guerre elles ne sauraient plus où seraient leurs machines et leurs wagons. Il faut des sociétés puissantes pour accomplir de grands efforts; il faut, pour répondre aux nécessités de la guerre moderne, que les chemins de fer puissent, du jour au lendemain, fournir de véritables armées industrielles, et ces armées ne s'improviseraient pas avec des exploitations morcelées. »

Puisse le pays ne pas oublier ces sages conseils !

M. de Franqueville ne quittait pour ainsi dire plus son cabinet. Il fallait, après les batailles de Forbach et de Reichshoffen, songer à la défense des places et surtout de Paris. Tous les ingénieurs des ponts et chaussées rivalisaient de dévouement, et leur chef en ressentait une légitime fierté. Lorsque le désastre de Sedan fut connu, on dut prescrire la destruction des ouvrages d'art construits sur un grand nombre de routes et de chemins de fer. C'est, pour un ingénieur qui a passé sa vie à élever des constructions utiles aux travaux de la paix, une cruelle douleur d'avoir à les détruire. Nous avons connu cette angoisse; M. de Franqueville la sentait d'autant plus vivement qu'il se demandait si toutes les destructions qu'on réclamait étaient des sacrifices réellement nécessaires.

Journée du 4 septembre 1870. Mort de Mme de Franqueville mère. — La journée du 4 septembre 1870 fut terrible pour M. de Franqueville. Des fenêtres de son appartement, place du Palais-Bourbon, il voyait les abords du Corps législatif envahis, et il ne pouvait chasser de sa mémoire les souvenirs de la journée du 15 mai 1848. Sa respectable mère était alors à l'agonie, et il était auprès de son lit lorsque l'on vint lui demander d'assurer à l'impératrice un moyen de quitter Paris. L'impératrice avait heureusement pu s'éloigner quelques instants auparavant, et M. de Franqueville demeura auprès de sa mère, qui rendit le dernier soupir dans la nuit même. Nous avons dit la profonde affection que M. de Franqueville avait pour sa mère : en conduisant à Versailles sa dépouille mortelle, il obéit à un désir qu'elle lui avait souvent manifesté; quelques jours plus tard cela n'eût plus été possible. « Elle est « morte à temps, écrivait-il à son fils, pour ne pas voir et « ne pas sentir toutes nos douleurs et toutes nos humilia- « tions. »

Séjour à Tours et à Bordeaux. — Les mesures prises par le gouvernement de la Défense nationale exigeaient la

représentation en province de chacun des grands services administratifs; MM. de Boureuille et de Franqueville furent délégués à Tours et suivirent le Gouvernement à Bordeaux; ils quittèrent Paris le 10 septembre, emmenant avec eux une vingtaine d'employés du ministère, chefs de division et agents de divers grades.

Envoyé moi-même en province pendant que mon prédécesseur, M. Sauvage, restait à Paris, je demeurai, de divers points de la France, en communication à peu près constante avec M. de Franqueville, et je le vis plusieurs fois à Tours et à Bordeaux. Dans chacune de ces villes il avait adopté une organisation en rapport avec la bonté de son caractère et son besoin d'expansion; il ne se tenait pas dans une pièce isolée, il demeurait constamment avec ses collaborateurs, qu'il appelait ses amis.

A Bordeaux, il avait, au moins relativement, une grande installation. Son cabinet était installé dans la salle des séances du tribunal de commerce, la salle des faillites: Cela convient à la situation, disait-il en souriant tristement. Mais à Tours, il n'avait pu trouver qu'une modeste salle d'études au lycée; il occupait la chaire du maître; les chefs de division travaillaient autour de lui sur quelques méchantes tables noires. Le conseil général des ponts et chaussées était représenté par Maniel, qui n'avait pas voulu quitter son chef et son ami, et qui écrivait silencieusement à côté de lui.

Relations avec le gouvernement de la Défense nationale. — M. Crémieux avait pris dans ses attributions le département des travaux publics. Les relations que M. de Franqueville entretint avec lui furent excellentes; tout le monde rendait justice aux efforts qu'il faisait pour assurer le service. La tâche était difficile; il fallait en quelque sorte improviser l'administration centrale : MM. de Boureuille et de Franqueville y parvinrent. Dans les départements non envahis par l'ennemi, l'administration française a par-

tout fonctionné avec une parfaite régularité. On peut adresser à notre administration des critiques de détail, on peut parler de ses lenteurs, de son formalisme; mais il faut reconnaître sa puissance et son honnêteté et convenir qu'elle représente une des forces véritables de notre pays.

Le crédit de M. de Franqueville à Tours et à Bordeaux fut considérable; ses sages conseils prévinrent la réalisation de mesures graves conseillées sur divers points de la France par des personnes étrangères à l'exploitation des chemins de fer.

Correspondance de M. de Franqueville avec sa famille. — Depuis le 6 août 1870 jusqu'au 3 juin 1871, M. de Franqueville a écrit presque tous les jours à son fils ou à sa belle-fille. Nous avons lu cette correspondance précieuse à tant de titres, et qui pourra fournir aux historiens de l'avenir plus d'un renseignement précis. Il serait impossible de l'analyser aujourd'hui : elle reflète les impressions d'un homme en contact journalier avec les puissants du jour, d'un homme à l'esprit clairvoyant, maître de lui, dont les yeux sont fixés sur un but unique, sauver le pays s'il peut être sauvé.

Quelques lettres révèlent cependant un désespoir profond. Il voit la France châtiée et il invoque la miséricorde divine. Dans d'autres lettres, il reprend quelque espoir; il constate les résultats obtenus « grâce à l'esprit calme et « résolu de l'amiral Fourichon.... Si nous devons succomber définitivement, ce sera, ajoutait-il, après une résistance honorable et sous le coup de l'irrésistible puissance « de nos ennemis. »

Les événements intérieurs de Paris causent à M. de Franqueville une horrible douleur : il compare la situation de la France à celle d'un vaisseau attaqué de tous côtés et dévoré par un incendie allumé par des hommes de l'équipage.

Relations avec M. Thiers. — M. de Franqueville n'avait

jamais eu de relations directes avec M. Thiers; mais à Tours et à Bordeaux il le vit régulièrement chaque jour, et quelquefois le soir et le matin. Ses lettres témoignent à différentes reprises d'un vif sentiment d'admiration pour le patriotisme de cet homme d'État. Chaque matin M. de Franqueville voyait le Président de la République. Celui-ci avait du reste, pour le directeur général, une haute estime; c'était, disait-il il y a peu de jours, « le type achevé du vrai ser-« viteur du pays, fidèle et dévoué, faisant passer le devoir « avant tout, toujours prêt à faire ce qu'on lui demandait; « l'esprit à toute heure net et présent, quelles que fussent « la gravité des circonstances, l'urgence et la multiplicité « des affaires. »

Retour à Paris et départ pour Versailles.— M. de Franqueville quitta Bordeaux l'un des derniers. Il partit le 15 mars 1871. Tout le monde s'adressait à lui. « Le ministre « de la guerre demande », écrivait-il le jour même de son départ, « que l'on transporte à la fois les prisonniers de « guerre, l'armée allemande, les internés de Suisse, les « mobiles et les mobilisés. Les chemins de fer succombent « à la tâche... j'abuse des dépêches télégraphiques. »

Nous ne succombions pas à la tâche, mais nous avons passé de cruelles semaines. Si l'on ajoute aux transports dont le ministre de la guerre donnait l'énumération, le ravitaillement de Paris et la reconstruction de plus de 150 ouvrages d'art détruits par les Allemands ou les Français, on reconnaîtra que jamais on ne s'était trouvé en face de pareilles difficultés.

Rentré à Paris le 16 mars, M. de Franqueville était appelé le 19 à Versailles, où il prenait possession de son cabinet de la Cour de Marbre.

Les deux mois qui suivirent furent peut-être les plus laborieux de sa vie. Il partait, le matin, dès six heures, pour aller d'une gare à l'autre, afin de prescrire les me-

sures nécessaires et d'en surveiller l'exécution. « Il y a des moments, écrivait-il, et celui-ci en est un, où l'on ne peut s'en rapporter qu'à soi. Comme il n'y a plus de voitures à Versailles, il faut faire toutes ces courses à pied, au prix de beaucoup de fatigue. » A sept heures et demie, il se rendait à la présidence et assistait au conseil de guerre, qui se tenait, chaque matin, chez M. Thiers. De là, il rentrait à son cabinet, où il demeurait en permanence, occupé, avant tout, de ce qui était la grande question du moment : l'approvisionnement et les mouvements des troupes. « Le soir, ajoutait-il, je reçois les agents de la compagnie de l'Ouest, qui viennent me faire des rapports sur les principaux incidents de la journée : cela dure jusqu'à minuit, heure où je me couche pour recommencer le lendemain. Je ne parle pas des incidents, des dépêches, des conférences : tout cela ne serait rien, si je n'avais toujours, au fond du cœur, l'inquiétude pour le présent et pour l'avenir. »

On verra, par la lettre de M. Thiers que nous publions plus loin, quel cas le Président faisait des services que rendit alors le directeur général.

Mort de Monseigneur Darboy. — Nous n'aurions pas parlé des horribles événements qui ensanglantèrent Paris à cette époque et qui, aux malheurs de la guerre étrangère, ajoutèrent les hontes et les malheurs de la guerre civile, si nous n'avions pas eu à dire la profonde douleur que ressentit M. de Franqueville en apprenant la captivité et la mort de l'archevêque de Paris. Quelques années auparavant, Monseigneur Darboy avait, à l'église des Petits-Pères, béni l'union de M. Charles de Franqueville et de Mademoiselle Schaeffer. Il était difficile de voir l'archevêque sans être attiré vers lui. Homme de devoir, serviteur dévoué du pays, M. de Franqueville n'avait point tardé à éprouver une vive sympathie pour le prêtre vénérable qui par ses lettres, ses instructions pastorales, ses allocutions

ardentes, exaltait en toute occasion le devoir, le travail, le dévouement à la patrie.

Conseil supérieur de la guerre. — Avant de reprendre l'historique des questions de travaux publics traitées par M. de Franqueville, mentionnons sa nomination au conseil supérieur de la guerre. Présidé par M. Thiers, composé du ministre de la guerre, des maréchaux de Mac-Mahon et Canrobert, du duc d'Aumale et des représentants les plus élevés de l'armée et de la marine, ce conseil était chargé de préparer les lois, décrets et règlements relatifs à la réorganisation de l'armée. L'honneur de siéger dans une semblable réunion était considérable. En le conférant à M. de Franqueville, le Président de la République entendait à la fois récompenser le directeur général de ses services antérieurs et montrer l'importance que les chemins de fer avaient acquise dans l'étude des affaires militaires.

Attaques contre l'administration de M. de Franqueville. — La grande situation acquise par M. de Franqueville, il faut le dire, fatiguait un certain nombre de personnes. Je suis las de toujours entendre appeler cet homme le Juste, s'écriait il y a 2.400 ans un électeur d'Athènes. On n'avait aucun reproche à adresser au directeur général, si ce n'est qu'il y avait bien longtemps qu'il était à son poste, et que, gardien vigilant de la fortune du pays, il imprimait aux travaux publics une impulsion aussi puissante que prudente.

M. de Franqueville n'ignorait pas cette situation. Dès le 16 février 1870, il écrivait les lignes suivantes :

« Nous voici aux prises avec des intérêts puissants, « ardents, auxquels rien ne coûtera pour faire brèche aux « positions acquises et tout remettre en question..... Je « vois bien que je gêne singulièrement..... Enfin, à la « garde de Dieu. Fais ce que dois, advienne que pourra. »

A Tours et à Bordeaux, les attaques se produisirent ouvertement. Quelques journaux, à diverses reprises, de-

mandèrent la suppression de la direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer, et la réunion de ce grand service à celui des postes et des télégraphes. Le club du Grand-Théâtre de Bordeaux entendit les discours ordinaires sur le monopole, la féodalité financière, etc. A plusieurs reprises, M. Crémieux dit à M. de Franqueville que personne dans le Gouvernement n'entendait porter atteinte à une situation acquise au prix de tant de services. « Les malheurs publics laissent bien peu de place « aux préoccupations personnelles », écrivait le 24 décembre 1870 le directeur général, et les fonctions publiques n'avaient à ce moment rien d'enviable.

Les terribles préoccupations de l'année 1871 reléguèrent pendant un certain temps au second rang les questions relatives aux travaux publics ; elles ne tardèrent pas à être agitées de nouveau, et trop souvent sous une forme violente et personnelle.

Pendant cinq ans, dans des brochures et dans des journaux, on a dit, on a répété que tant que l'administration des travaux publics resterait inféodée à un homme, et à un homme appartenant aux ponts et chaussées, la France ne reprendrait pas le rang qui lui appartient ; que c'était la faute de M. de Franqueville si nous étions au-dessous de telle ou telle nation ; que le rapport du nombre de kilomètres de chemins de fer à la surface d'un pays était le seul élément à vérifier, et qu'il était déplorable que dans la Lozère, le Cantal et la Corrèze, on n'eût pas autant de chemins de fer que dans les Flandres ou la province de Liége.

La révolution de 1848, les cruels événements de 1870 et de 1871 n'étaient pour rien, disait-on, dans le ralentissement que les travaux publics avaient pu éprouver en France ; l'administration seule était coupable. On oubliait volontairement, on oublie peut-être encore aujourd'hui que pendant ces vingt et une dernières années et sous l'admi-

nistration de cet homme à *idées étroites*, le nombre des kilomètres concédés s'est élevé de 11.633 à 26.339, et celui des kilomètres exploités de 5.533 à 20.344 (*) sans compter 4.381 kilomètres de lignes d'intérêt local.

On oublie que la crise extraordinaire qui frappait l'épargne publique engagée par milliards dans l'industrie des chemins de fer a été conjurée par les combinaisons financières de 1858 et de 1859.

On oublie enfin que l'association de l'État et des grandes compagnies a permis la construction d'un nombre, trop considérable peut-être, de lignes absolument improductives.

Pour les détracteurs de M. de Franqueville, tout cela n'est rien, ou même tout cela est mauvais, car on a constitué un monopole insupportable ; c'est seulement de la loi du 12 juillet 1865 sur les chemins de fer d'intérêt local, de cette loi largement appliquée, qu'il faut désormais tirer la charte industrielle du pays.

(*) Lorsque M. de Franqueville a pris le service des chemins de fer en 1855, la longueur totale des lignes concédées au 31 décembre était de. . . . . 11.633 kilom.
Cette longueur au 31 décembre 1875 s'élevait à 26.339

Augmentation. . . . . 14.706 kilom.

A quoi il convient d'ajouter :

Concessions éventuelles à régulariser.	347 kilom.
Chemins de fer décrétés, mais non encore concédés	1.486
Chemins de fer étudiés (2ᵉ partie de la loi du 31 décembre 1875).	1.060
Chemins de fer d'intérêt local concédés en vertu de la loi du 12 juillet 1865.	4.381
Lignes d'Alsace-Lorraine cédées à l'Allemagne. . .	835
On arrive à un total de.	22.815 kilom.

qui, en vingt et un ans, représentent la part prise par M. de Franqueville au développement du réseau français, soit plus de 1.000 kilomètres par an, dans une période qui comprend 1870 et 1871.

Pendant deux années, une véritable fièvre de chemins de fer s'est emparée de la France, et les conseils généraux ont été saisis d'innombrables demandes de concessions. Des lignes, faisant double ou triple emploi avec des chemins déjà construits et en possession d'un trafic très-faible, étaient réclamées sans garantie d'intérêt ni subvention.

Les promoteurs de la loi du 12 juillet 1865, pour définir le caractère des chemins de fer d'intérêt local, avaient eu recours à une ingénieuse comparaison : les lignes anciennes (Paris-Marseille, Paris-Bordeaux) constituaient le tronc d'un arbre vigoureux ; les lignes secondaires déjà existantes représentaient les grosses branches ; les lignes d'intérêt local seraient les ramifications nombreuses allant chercher partout l'air et la lumière, au grand bénéfice des branches et du tronc.

Tout cela était bien suranné : au lieu de constituer des lignes d'embranchement reliant à une ligne ancienne une petite ville, un chef-lieu de canton, un centre industriel non encore desservi, les lignes nouvelles étaient tracées de manière à former des raccourcis sur les lignes anciennes, quelquefois sans rien rencontrer sur leur parcours. Souvent on allait de la frontière sud d'un département à la frontière nord, sans autre souci que celui de se souder à des concessions réclamées des départements voisins en deçà et au delà. C'est ainsi que l'on considérait comme chemin d'intérêt local une ligne de Bourges à la frontière belge.

Tandis que la France, au prix de sacrifices énormes, reconstituait ses places fortes, les chemins d'intérêt local contournaient Paris et d'autres places, sans se préoccuper en rien des intérêts de la défense.

On a essayé d'additionner les longueurs kilométriques de tous les chemins réclamés à titre d'intérêt local ; le 31 juillet 1873, la longueur totale s'élevait à 16.666 kilomètres ; chaque jour voyait éclore de nouvelles demandes.

Parmi tous ces projets, il y avait des affaires sérieuses,

étudiées, suivies par des hommes honorables, nous sommes loin de le méconnaître ; mais, à côté de projets véritables, combien de dossiers ne contenant que des lignes bleues ou rouges tracées sur les cartes de l'état-major ! combien de profils en long, de pure fantaisie, négligeant les tunnels et les viaducs ! Un de ces profils demeurera célèbre : on avait oublié de tenir compte d'une montagne de 110 mètres de hauteur séparant deux bassins.

Quant aux ressources financières, rien de plus simple : le capital-actions était toujours souscrit à l'avance ; on ne demandait qu'une chose aux pouvoirs publics, l'autorisation d'émettre des obligations. Les cautionnements se composaient de valeurs à peu près inconnues. Le procès qui vient de se juger à Moscou a montré que le roi des chemins de fer, le docteur Strousberg, avait, dans une de ses entreprises, offert en cautionnement les actions d'un chemin de fer français qui n'a jamais existé. Espérons que des procédés semblables ne s'acclimateront pas chez nous, et que l'on n'offrira pas à nos départements un cautionnement en actions de chemins de fer du Japon ou de l'Indo-Chine.

Habitué aux formes précises du service des ponts et chaussées, formes acceptées et scrupuleusement suivies par les ingénieurs des grandes compagnies, accoutumé aux budgets réguliers, aux rapports des commissions de vérification de finances, M. de Franqueville éprouvait une véritable souffrance à la vue de projets si extraordinaires, de combinaisons si singulières ; mais il ne désespérait pas du retour à des idées plus saines.

Eclairée par les ministres qui, de 1871 à 1876, ont tenu le portefeuille des travaux publics, l'Assemblée nationale a fait justice des doctrines nouvelles, si dangereuses pour le crédit public, qui étaient formulées de tant de côtés. Les lois de 1873, 1874 et 1875 ont doté le pays de près de 4.000 kilomètres de concessions nouvelles et préparé l'exé-

cution de 2.400 autres kilomètres. C'est une lourde tâche à accomplir et qui exigera de grands efforts de la part de l'État et des compagnies.

On a critiqué les dernières lois votées par l'Assemblée nationale : on a dit que les vrais principes avaient été méconnus, que les discussions avaient été étouffées, que les votes avaient été enlevés. D'abord, nous ne savons pas trop ce que l'on entend par les *vrais principes;* peut-être consistent-ils à concéder une ligne qui ne vivra que du trafic enlevé à une ligne ancienne; mais, quant aux discussions étouffées et aux votes enlevés, que l'on nous permette un souvenir personnel.

Loi relative au chemin de fer de l'Est, 1873. — La loi destinée à régler la situation faite à la compagnie de l'Est, par la guerre, qui lui enlevait ses lignes d'Alsace-Lorraine, ainsi que son réseau belge et luxembourgeois, a donné lieu à une discussion qui a occupé *neuf séances* de l'Assemblée nationale. Non-seulement les questions spéciales à la compagnie de l'Est ont été l'objet d'un examen approfondi, mais le régime général des chemins de fer, la division de la France en circonscriptions desservies par un seul réseau, le mode de tarification, la garantie d'intérêt, tout a été repris, passé en revue et longuement critiqué et défendu. Est-ce là une discussion étouffée, et tous les principes n'ont-ils pas eu le temps d'être développés?

Pendant ces longues séances, nous avions l'honneur d'être placé auprès de M. de Franqueville, et nous étions frappé de son attitude souvent douloureuse. Quelques orateurs, oubliant que la loi fermait la bouche au directeur général, se laissaient entraîner à attaquer un homme qui ne pouvait se défendre (*). Un mot, prêt à sortir des lèvres de M. de

(*) La loi du 16 juillet 1875 a rétabli les choses anciennes, et, comme commissaire du Gouvernement, le directeur général pouvait reprendre la parole devant les Chambres.

Franqueville, eût réduit à néant une argumentation qui avait un point de départ erroné; mais ce mot, M. de Franqueville ne pouvait pas le dire; il se contenait, et d'une main fiévreuse écrivait au crayon une note qu'un huissier faisait passer au ministre, l'honorable M. Deseilligny, qui, nommé depuis deux jours, ne pouvait connaître les détails d'une négociation poursuivie pendant deux ans.

Le soir d'une des séances dont nous venons de parler, M. de Franqueville écrivait :

« .....Vous avez pu me trouver un peu préoccupé, et « cela je n'en disconviens pas. Depuis le commencement « de cette semaine j'assiste, à l'Assemblée nationale, à une « discussion à laquelle je ne puis prendre part personnel- « lement, et où je suis, à chaque instant, mis en cause « avec une malveillance plus ou moins agaçante, pour ne « pas dire plus. Il me prend alors de furieuses envies de « tout laisser là, et je le ferais certainement si ce n'était « pas donner gain de cause à ceux que ma présence gêne « dans leurs combinaisons plus ou moins avouables. »

Travaux excessifs et fatigue de M. de Franqueville. — Nous venons de parler de la loi qui concernait le chemin de fer de l'Est, et qui fut votée en 1873. Le directeur général eut à suivre un nombre considérable d'autres affaires aussi importantes. Pendant les cinq dernières années de sa vie, il se livra à un travail véritablement excessif, et l'on peut dire qu'il est mort à la peine. Chaque année, il allait à Évian ou à Aix prendre des bains et des douches qu'il jugeait nécessaires à sa santé, mais surtout chercher quelques jours de repos. Sa correspondance prouve qu'il y réussissait bien mal. Il écrivait d'Évian le 7 septembre 1874 : « Pour moi, je suis poursuivi par les affaires jusque « dans ma baignoire..... Aujourd'hui, après avoir mis à la « poste mon exposé des motifs et mon dossier, voilà qu'il « m'arrive du ministère une lettre de quinze pages sur une « affaire qui émotionne la ville de Lyon. »

Les lettres écrites par M. de Franqueville, pendant ces cinq dernières années, sont aussi intéressantes que celles qu'il a écrites pendant la guerre, et dont nous avons parlé. Il assiste, en spectateur attristé, aux luttes intérieures des partis à l'Assemblée. On oublie le pays, dit-il, on crie *Vive Armagnac* et *Vive Bourgogne!* on ne crie pas *Vive la France!* Il juge sévèrement les exigences des groupes, des comités, et songe bien plus à l'Alsace et à la Lorraine perdues qu'aux finesses que comporte la rédaction d'un ordre du jour. Les succès qu'obtiennent à la tribune les ingénieurs des ponts et chaussées, membres de l'Assemblée nationale, l'enchantent, et quand MM. Caillaux, Krantz, Cézanne, Montgolfier, ont été écoutés avec attention, il s'en réjouit bien plus que s'il eût pris lui-même la parole.

Il semble que M. de Franqueville ait eu le pressentiment d'une mort prochaine. En 1874, il perdit sa sœur, la baronne Dubreton, qui mourait subitement à Châtellerault, où elle était allée passer quelques jours. « Pauvre sœur! disait-il. « Mais au fait, pourquoi la plaindre? Elle est plus heu- « reuse que nous; elle est morte sans secousse, sans dou- « leur, entourée de tous les siens, après avoir reçu en « pleine connaissance les sacrements de l'Église. C'est la « fin que j'ai toujours rêvée. En tout cas, quand Dieu « voudra, je suis prêt. »

De retour à Versailles, il fit, de concert avec le général Dubreton, son beau-frère, élever un tombeau de famille pour tous les siens et pour le vieux général Dubreton. Il s'y réserva une place, près de sa mère et de sa sœur.

Concessions faites en 1875. — L'année 1875 fut excessivement laborieuse. Des conventions passées avec les compagnies de Lyon, du Midi, du Nord, de l'Est et de l'Ouest, ajoutèrent au réseau national 2.397 kilomètres de lignes nouvelles; l'utilité publique fut déclarée, en outre, pour 1.344 autres kilomètres.

Nous ferons aux notes retrouvées par M. Charles de

Franqueville, dans les papiers de son père, un dernier emprunt. Nous en analyserons deux qui ont été écrites en 1876 : la première sur les tarifs de chemins de fer, la seconde sur le budget de 1877.

Abaissement continu dans le prix des transports des marchandises. — Dans le discours prononcé en 1865 devant le Corps législatif, M. de Franqueville avait établi que le public français demandait, avant toutes choses, des réductions dans les prix de transport. La note ci-après, écrite le 24 juin 1876, prouve à la fois la constance de ses préoccupations à ce sujet et l'importance du résultat obtenu :

« Le prix moyen de transport par chemin de fer s'éle-
« vait, en 1853, par tonne et par kilomètre, à. . 8c,20
« Le prix moyen, en 1874, est de. 5c,97

« Différence en moins. 2c,23

« Le nombre des tonnes transportées à toute distance a « été, en 1874, de 56.680.000 tonnes, qui donnent, en « tonnes kilométriques, 7.926 millions.

« La différence de 2c,23 représente une économie an- « nuelle de 176.749.800 francs, comparativement au prix « que le même tonnage eût payé si l'on eût appliqué les « tarifs de 1853. »

Si l'on veut bien se rappeler que les tarifs légaux inscrits dans les premiers cahiers des charges étaient de 16, 14 et 10 cent., que la 4e classe introduite en 1863 comporte encore des prix de 8, 5 et 4 cent., on reconnaîtra que spontanément les grandes compagnies ont su réduire leurs tarifs, et que l'économie réalisée par le public sur les prix d'il y a 25 ans ne tardera pas à dépasser 200 millions de francs par an.

Budget de 1877. Testament administratif de M. de Franqueville. — En vue de la discussion qui s'élèverait, soit dans les commissions des assemblées, soit en séance publique, le directeur général avait, à la date du 22 juillet

1876, résumé ses idées, non-seulement sur le budget de 1877 et sur les travaux engagés, mais sur ce qui lui semblait devoir être entrepris aussi prochainement que le permettraient les ressources financières.

Les dépenses à faire, à partir de 1877, pour les travaux engagés en dehors des chemins de fer, s'élèvent à 275 millions.

On en connaît suffisamment le détail.

Les dépenses à faire pour des travaux non encore décrétés s'élèveront à 500 millions de francs.

Ces travaux comprennent :

a) *Pour les routes et les ponts :*

L'achèvement des lacunes;

Les rectifications des pentes admises autrefois, mais qui sont aujourd'hui considérées comme de véritables obstacles;

Le rachat de 31 ponts à péage qui subsistent encore sur les routes nationales;

Le remplacement des ponts suspendus par des ponts en maçonnerie ou en métal.

b) *Pour les rivières navigables et les canaux :*

L'amélioration du Rhône;

L'amélioration du canal de Bourgogne, de l'Yonne, de la Haute-Seine;

L'amélioration de la Basse-Seine;

La réfection des digues de la Loire;

La construction de déversoirs pour faire écouler dans les vals les eaux d'inondation entre Briare et Nantes;

Divers travaux sur la Loire maritime, la Saône, la Garonne et l'Adour;

L'amélioration des canaux du Nord, du Centre, de Briare, du Loing, d'Orléans, du Rhône au Rhin, de l'Aisne à la Marne, latéraux à la Loire, à l'Aisne, à la Marne;

La construction de nouveaux canaux, notamment de la Haute-Marne à la Saône, de l'Aisne à l'Oise;

Le rachat des canaux concédés, notamment de la Scarpe, de Lez et de Beaucaire.

c) *Pour les ports maritimes:*

La mise en état d'ouvrages anciens compromis par l'insuffisance des sommes consacrées à leur entretien;

La construction de bassins en eau profonde à Boulogne, à Saint-Malo, à La Rochelle;

L'agrandissement du port de Cette en première urgence;

L'agrandissement des ports de Dieppe, Cherbourg, Paimbœuf, Arcachon, la pointe de Grave;

L'achèvement de l'éclairage et du balisage des côtes.

d) *Pour le service hydraulique:*

Le grand canal de dérivation du Rhône;

Les canaux d'irrigation dans les Hautes et Basses-Alpes, les Hautes et Basses-Pyrénées, les Alpes-Maritimes, l'Aude et les Bouches-du-Rhône.

500 millions de nouveaux travaux publics à engager dès que les travaux entrepris, — et il y en a pour près de 300 millions, — seront achevés : voilà l'avenir que le directeur général envisageait résolûment. Il ne s'agissait pas d'appréciations générales que sa haute expérience lui aurait permises, à lui plus qu'à toute autre personne; les chiffres indiqués par M. de Franqueville reposent sur des études faites depuis longtemps sous son administration. De nombreux projets sont dressés sur tous les points du territoire, et le programme dont nous venons d'indiquer les bases montre la vigilance avec laquelle les besoins du pays étaient étudiés. Ce programme est, hélas! le testament administratif du dernier directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer, *ultima verba.*

Suppression de la fonction de directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer. — Nous abordons ici un

sujet fort délicat, mais qui se lie si intimement au récit de la vie de M. de Franqueville qu'il ne nous a pas paru possible de le passer sous silence.

Après avoir rendu hommage à la haute capacité dont le directeur général avait donné tant de preuves, la commission de la Chambre des députés, chargée d'examiner le projet de budget des travaux publics pour l'exercice 1877, s'exprimait de la manière suivante :

« Votre commission, Messieurs, sortirait de son rôle, si « elle vous proposait un règlement des attributions du « personnel; mais elle signale à M. le ministre des travaux « publics les nécessités auxquelles il lui paraît urgent de « pourvoir en lui demandant de séparer les deux services « des chemins de fer et de la navigation. »

En émettant ce vœu, la commission du budget aurait peut-être dû ajouter quelques lignes pour repousser les accusations trop souvent lancées contre M. de Franqueville : on n'avait pas, en effet, craint de dire que, chez le dernier directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer, la balance n'avait pas été toujours tenue d'une manière impartiale entre les chemins de fer et les voies navigables.

M. le ministre des travaux publics a fait justice, à Versailles et sur la tombe même de M. de Franqueville, de cette triste insinuation. La longue énumération des entreprises de navigation dont le directeur général a, par tous les moyens en son pouvoir, poursuivi la création ou l'amélioration, montrera-t-elle enfin que jamais reproche ne fut moins fondé?

La mort inopinée de M. de Franqueville a amené, pour ainsi dire sans discussion, la réalisation des désirs de la commission du budget. La direction générale des ponts et chaussées a été supprimée, et l'administration centrale du ministère des travaux publics a été organisée sur des bases nouvelles qui diffèrent peu de celles qui avaient été adoptées en 1853.

Nous demandons ici la permission d'exprimer une opinion personnelle. Depuis bientôt quarante années, on a plusieurs fois modifié l'administration des travaux publics; ne conviendrait-il pas de revenir purement et simplement à ce qui existait avant ces divers essais, à la direction générale des ponts et chaussées telle qu'elle existait sous M. Legrand? C'était une organisation plus que séculaire et qui avait fonctionné sous des régimes politiques bien différents.

Sans remonter à Sully, grand voyer de France, nous voyons, pendant la seconde moitié du XVIIIe siècle, le service des ponts et chaussées dirigé, de 1742 à 1792, par quatre intendants généraux seulement, et l'un d'eux, le plus illustre, Charles-Daniel Trudaine, reste en fonctions 24 ans de suite.

Après la Révolution, de 1800 à 1847, sauf de très-courts intervalles, il n'y a eu que six directeurs généraux :

M. Crétet, de 1800 à 1806;

M. le comte de Montalivet, de 1806 à 1809;

M. le comte Molé, de 1809 à 1817;

M. Becquey, de 1817 à 1830;

M. Bérard, de 1830 à 1832;

M. Legrand, de 1832 à 1847.

Après une lacune à laquelle la révolution de 1848 n'a pas été étrangère, cette grande tradition avait été renouée, imparfaitement il est vrai, par la nomination de M. de Franqueville, et celui-ci, n'avait été inférieur à aucun de ses prédécesseurs.

Un antagonisme serait-il à redouter entre le ministre des travaux publics et le directeur général? Nous ne le pensons pas; et ici l'expérience répond : Trudaine, en 24 ans, a été sous les ordres de 7 contrôleurs généraux; M. Legrand, soit comme directeur général, soit comme sous-secrétaire d'État, a été le collaborateur de 11 ministres; M. de Franqueville, depuis le jour où il est entré au minis-

tère en 1838 jusqu'à sa mort, a vu en 38 ans 35 ministres. Peut-être, en entrant dans son cabinet, un ministre nouveau a-t-il eu un instant la pensée d'éloigner un fonctionnaire dont la présence pouvait lui porter quelque ombrage; mais au bout de bien peu de jours il était sous le charme, et l'on peut appliquer à M. de Franqueville ce que l'on a dit de M. Legrand : « La parfaite loyauté de Legrand, la douceur « et la dignité de son caractère, sa modération d'esprit « égale à son amour du bien et à ses lumières, triomphaient « de tous les obstacles; plus le ministre était éclairé, plus « Legrand avait de crédit. »

Malgré les atténuations de langage de la commission du budget des travaux publics, M. de Franqueville fut profondément attristé (*). Nous le vîmes souvent à cette dernière période de sa vie, et chaque fois il nous exprima sa ferme résolution de quitter le service si sa situation était amoindrie. A ce moment, il était écrasé de fatigue; il rédigeait des exposés de motifs pour des travaux considérables à exécuter sur les voies navigables, pour le rachat par la compagnie d'Orléans des réseaux des Charentes et de la Vendée, ainsi que pour l'exécution d'un réseau complémentaire dans le Centre et l'Ouest de la France.

Lorsque tout ce travail fut accompli, M. de Franqueville se décida à se reposer, et il quitta Paris le 15 août 1876, nous n'osons pas dire inquiet de l'avenir, — un homme de sa valeur, chrétien convaincu, avait la sérénité que donne la pensée du devoir en tout temps accompli. — A plusieurs reprises, d'ailleurs, M. le ministre des travaux publics lui avait dit en quelle profonde estime il tenait ses services,

(*) Il écrivait le 31 juillet 1876 : « Je ne suis pas dans un état « brillant, moralement surtout. Le rapporteur de la commission « du budget maintient en termes qui n'ont rien de désobligeant, « du reste, la proposition... Je me sens fatigué de corps et de tête, « et j'ai bien envie de me reposer. Je suis dans un état d'incerti- « tude qui m'ennuie considérablement... »

et affirmé qu'il n'existait aucun projet de réorganisation dans lequel une haute situation ne lui fût réservée. Malgré cette assurance, M. de Franqueville était troublé ; il ne pouvait pas ne pas se demander quelles seraient les combinaisons nouvelles qui l'accueilleraient à son retour, et, après 49 années de services exceptionnels et glorieux, il n'était pas sûr du lendemain.

V.

Derniers jours de M. de Franqueville. — Hommages rendus à sa mémoire. — Grandeur de l'œuvre accomplie.

Séjour à Aix-les-Bains. — Pour ces dernières pages, nous ne pouvons que reproduire une partie des récits qui ont été déjà publiés soit en Savoie, soit à Paris ; ils portent tous l'empreinte d'une vive sympathie pour le grand ingénieur enlevé au pays.

M. de Franqueville était arrivé à Aix le 16 août. Il aimait beaucoup la Savoie, et, depuis plusieurs années, il se rendait tantôt à Aix, tantôt à Évian. Cette fois, il comptait aller dans ces deux stations. « Quelques jours de « repos avaient suffi pour le remettre en apparence, et « chacun admirait sa gaieté et son entrain. »

La notice à laquelle nous empruntons les lignes qui précèdent raconte ainsi qu'il suit les derniers jours de M. de Franqueville :

« Le 24 août il voulut bien, sur la demande du sous- « préfet de l'arrondissement et des ingénieurs, se rendre « à Belley pour visiter les environs de la ville et examiner « le tracé proposé pour l'établissement de la nouvelle voie « ferrée qui doit desservir cette contrée. L'excursion fut « longue et fatigante, le temps était froid et humide ;

« M. de Franqueville rentra le soir à Aix légèrement indis-
« posé. Il lui fut cependant possible de sortir le lendemain,
« et même de passer au Casino une partie de la soirée;
« mais, dans la matinée du surlendemain samedi, il se
« sentit très-souffrant en sortant de l'établissement
« thermal.

« M. le professeur Bouillaud, membre de l'Institut et
« professeur à la Faculté de médecine de Paris; M. le doc-
« teur Vidal, médecin-inspecteur de l'établissement ther-
« mal, ainsi que deux chirurgiens mandés, l'un de Lyon,
« l'autre de Chambéry, lui prodiguèrent leurs soins sans
« pouvoir arrêter le cours de la maladie.

« Le lundi soir, son fils, mandé par un télégramme,
« arrivait près de lui; un moment on espéra que la périto-
« nite allait céder, mais la nuit fut mauvaise, et les symp-
« tômes fâcheux étaient fort aggravés le mardi matin.

« C'est alors que Mgr Mermillod, évêque d'Hébron,
« auxiliaire de Genève, fut appelé auprès du malade, qui
« avait conservé toute sa connaissance et ne soupçonnait
« même pas la gravité de son état. »

M. de Franqueville avait reçu une éducation chrétienne, et si, pendant sa jeunesse, il s'était éloigné de la pratique des sacrements, il n'avait pas perdu la foi. A mesure qu'il avançait en âge, il se rapprochait davantage de l'Église. En 1867, il avait, après avoir suivi la grande retraite de Notre-Dame, fait le dernier pas dans la voie d'un complet retour à Dieu, et les dures épreuves qu'il avait traversées n'avaient fait que l'affermir dans sa foi. Il accueillit cordialement Mgr Mermillod, et quelques moments plus tard, vers onze heures, M. l'archiprêtre d'Aix lui apportait la sainte communion.

« Cependant, ajoute la notice, le mal marchait avec une
« effrayante rapidité. L'extrême-onction fut administrée
« au malade, qui put encore répondre, en latin, aux
« prières de l'Église; mais, la cérémonie à peine achevée,

« M. de Franqueville parut s'assoupir, et quelques minutes « après, à midi, il avait rendu son âme à Dieu.

« En présence des nombreuses marques de sympathie « qu'il reçut alors de toutes parts, M. Charles de Franque- « ville voulut faire célébrer, à Aix même, un service fu- « nèbre avant de partir avec les restes mortels de son père. »

Cérémonie funèbre à Aix. — Cette cérémonie fut célébrée le 31 août, au milieu d'un imposant concours des habitants d'Aix et des principaux fonctionnaires de la Savoie et des départements voisins. Après l'absoute donnée par Mgr Mermillod, le corps fut transporté à la gare du chemin de fer et déposé dans un wagon-salon envoyé par la compagnie de Lyon. A ce moment, plusieurs discours furent prononcés par M. le comte du Moulin, ingénieur en chef du département; par M. de Valavieille, préfet de la Savoie; enfin, par M. Daubrée, inspecteur général des mines.

M. le comte du Moulin fit ressortir avec émotion que c'est en allant, par un temps affreux, voir un tracé de chemin de fer que M. de Franqueville avait pris le germe de la maladie qui l'avait enlevé, pour ainsi dire, d'une manière foudroyante.

M. le marquis de Valavieille prit la parole à son tour dans les termes suivants :

« Messieurs,

« Avant de nous séparer de l'homme éminent dont nous pleurons la perte, qu'il me soit permis de donner lecture de la dépêche que M. le ministre des travaux publics a adressée au fils du défunt, au moment où il a appris la fatale nouvelle :

Le ministre des travaux publics à M. Charles de Franqueville.

« J'apprends avec douleur la mort de votre père. J'avais, « pendant le trop court temps où nous avons travaillé en-

« semble, apprécié ses éminentes qualités, sa haute intel-
« ligence, sa patience au milieu des difficultés, son amour
« infatigable du travail, et, au-dessus de toutes choses, la
« bonté et la douce sérénité de ce grand esprit.

« Je perds en lui un collaborateur hors de pair, et,
« j'aime à le penser, un ami. Nul ne sent plus vivement
« que moi l'immensité de cette perte cruelle et inattendue.

« ALBERT CHRISTOPHLE.

« J'ajouterai que la Savoie s'associe aux regrets du Gouvernement, car elle ne saurait oublier les grands services rendus à ce pays par l'éminent directeur général des ponts et chaussées. En apprenant ce triste événement, le conseil général de la Savoie, se faisant l'interprète des populations, a voulu, par un vote unanime, inscrire dans ses délibérations l'hommage de sa reconnaissance et de sa sympathie pour M. de Franqueville. »

La nouvelle de la mort de M. de Franqueville causa à Paris la plus douloureuse surprise ; ses amis connaissaient l'état de malaise dans lequel il était parti, mais tous espéraient que le repos suffirait, comme il avait suffi les années précédentes, pour lui rendre ses forces et son activité. On fut cruellement détrompé.

Obsèques à Versailles. — Les obsèques se firent à Versailles le 5 septembre, à l'église cathédrale de Saint-Louis. Une foule très-nombreuse s'était rendue à cette triste et imposante cérémonie.

Le Conseil d'État, les conseils généraux des ponts et chaussées et des mines, la commission centrale des chemins de fer, le ministère des travaux publics, avaient envoyé des députations. Toutes les compagnies de chemins de fer étaient représentées, et, bien qu'à l'époque des vacances beaucoup de personnes fussent éloignées de Paris, l'église Saint-Louis était à peine suffisante pour contenir la foule des assistants.

« S. E. Mgr le cardinal de Bonnechose, archevêque de « Rouen, assisté des vicaires généraux de Versailles, a « donné l'absoute. Le cortége s'est ensuite rendu au « cimetière Saint-Louis, où cinq discours ont été prononcés par MM. Albert Christophle, ministre des travaux « publics, au nom du Gouvernement; Léon Aucoc, au nom « du Conseil d'État; de Boureuille, au nom de l'administration centrale des travaux publics; Kleitz et Lalanne, « au nom du corps des ponts et chaussées. Puis, pendant « les dernières prières de l'Église et le défilé des troupes, « le corps a été inhumé dans un caveau de famille. »

Hommages rendus à la mémoire de M. de Franqueville. — Un hommage universel a été rendu à la mémoire de M. de Franqueville. De tous les points de la France, les hommes les plus considérables ont adressé à son fils l'expression de leur vive sympathie et de leur estime profonde pour son père.

La famille de M. de Franqueville conservera avec un légitime orgueil les discours prononcés à Aix et à Versailles, et la collection des lettres écrites par tant de personnages considérables, parmi lesquelles nous citerons :

S. A. R. Mgr le comte de Paris;

S. A. R. Mgr le duc de Nemours;

S. A. R. Mgr le duc d'Aumale;

MM. Thiers, Magne, Rouher, Béhic, le baron de Larcy, Vuitry, Paul Andral, etc., etc.

Les conseils d'administration des compagnies du Nord, de l'Est, du Midi, de l'Ouest, du chemin de fer de Ceinture, prirent des délibérations dans lesquelles est consignée l'expression de leurs regrets, et qui furent envoyées à M. Charles de Franqueville.

Nous ne pouvons reproduire ici toutes ces lettres; nous en détacherons seulement deux, celles qui furent écrites par M. Rouher et par M. Thiers.

Extrait d'une lettre de M. Rouher, *député, ministre des travaux publics de* 1855 *à* 1863.

« J'ai vivement ressenti le malheur inopiné et cruel qui « vous a enlevé votre père et qui a privé l'État d'un de ses « serviteurs les plus éminents. A travers les vicissitudes « de la politique, j'avais conservé à de Franqueville la « plus sincère affection et la plus haute estime. Notre lon- « gue collaboration m'avait permis d'apprécier toute l'éten- « due de ses facultés. Nous avons écrit ensemble les arti- « cles de la constitution des chemins de fer en France. « Malgré les attaques aveugles ou inspirées par des pas- « sions cupides, cette constitution est restée debout; elle « n'a, pas plus que la liberté commerciale, pu être remon- « tée par le flot révolutionnaire. Aussi le nom de votre « père occupera-t-il une grande et brillante place dans « l'histoire économique de notre pays. Ce sont là pour « vous, Monsieur, des causes d'atténuation de votre légi- « time douleur, en même temps que de justes motifs de « fierté et de reconnaissance filiale pour celui qui n'est « plus.

« De Franqueville meurt pauvre, je n'en éprouve aucune « surprise. Il était trop inféodé à ses fonctions pour avoir « le souci de l'accroissement de sa fortune, et cette rigou- « reuse probité, qui est heureusement l'apanage du grand « nombre, le tenait à dédaigneuse distance des sources « faciles de la richesse.

« Je partage votre affliction, Monsieur, et conserverai « toujours à votre père le souvenir affectueux et attristé « que le cœur garde à un ami dévoué. »

Extrait d'une lettre de M. A. Thiers, *député de la Seine, ancien Président de la République.*

« J'ai appris, avec le plus vif regret, la mort, pour moi « si imprévue, de votre très-honorable père, l'un des

« hommes pour lesquels j'ai eu le plus d'estime et le plus « d'amitié. Dans ma très-longue carrière, je n'ai pas trouvé « d'homme plus capable, plus droit que M. de Franqueville. Il a été, selon moi, dans le demi-siècle auquel j'ai « assisté, l'un des personnages qui ont rendu à la France « les services les plus réels et les plus sérieux. Sans lui, « je ne sais pas comment on aurait pu faire pour sauver « l'intérêt général du chaos des intérêts particuliers dans « la partie la plus importante de l'administration, celle « des travaux publics. Il a constamment opposé aux cupidités particulières, si ardentes dans ce siècle, l'intérêt « vrai de l'État et un bon sens supérieur.

« Pour moi, il m'a laissé un souvenir ineffaçable, et je « n'oublierai jamais notamment les services très-grands « qu'il m'a rendus pendant et surtout après la dernière « guerre. Il m'a puissamment aidé à réparer les maux de « cette affreuse guerre, et je l'ai dit en dernier lieu encore « à tous les membres de la commission du budget, qui « avaient à s'occuper de sa situation.

« Je suis heureux de pouvoir payer à sa mémoire ce « tribut de gratitude et de vieille affection, et de le remettre à son honorable fils. »

Lorsque deux hommes politiques considérables, appartenant à deux partis si opposés, apportent à la mémoire de M. de Franqueville un pareil témoignage, on peut affirmer que le dernier directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer a été un grand citoyen et un grand serviteur de son pays.

Vœu exprimé par la ville de Cette. — La ville de Cette a tenu à honneur de consacrer le souvenir des services qui lui ont été rendus par M. de Franqueville. La chambre de commerce a émis le vœu que le bassin projeté à l'est de la jetée de Frontignan reçût le nom de *Bassin de Franqueville*. Un décret du 13 novembre 1876 a fait droit à ce vœu. Si nous sommes bien informés, d'autres villes doi-

vent suivre cet exemple et honorer, sous des formes diverses, la mémoire du directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer.

Grandeur de l'œuvre accomplie par M. de Franqueville. — Nous venons de dire quelle a été la vie de M. de Franqueville : Elle se résume en deux mots : le ***travail*** et le ***dévouement à son pays.*** Dieu lui avait donné des aptitudes merveilleuses ; mais depuis son enfance jusqu'à son dernier jour, pendant soixante années, il a travaillé, on l'a dit, avec acharnement, et, en tous cas, comme bien peu de personnes ont su le faire.

Il a occupé, dans l'État, une succession de postes élevés et il était arrivé à une situation considérable et exceptionnelle, mais qu'il ne devait qu'à lui-même. Chaque fois qu'il obtenait un nouveau grade dans sa carrière, il se croyait obligé de reconnaître cet avancement par un travail plus grand encore, et il l'écrivait bien simplement à ses amis. On critique souvent l'organisation de la société moderne; on cite dans les fonctions publiques des avancements imprévus et que l'on dit immérités ; on attribue à l'intrigue et à la faveur un rôle qu'elles n'ont pas toujours, Dieu merci, et qu'en tout cas elles n'ont pas rempli, un seul jour, dans la vie de M. de Franqueville.

Maintenant le pays a-t-il recueilli du labeur de M. de Franqueville une œuvre utile et durable ? Nous n'hésitons pas à répondre affirmativement, et à dire que son œuvre a été une des plus grandes qui aient été accomplies de notre temps.

La France présente souvent un spectacle singulier. D'immenses travaux s'exécutent chez elle, l'industrie s'organise, des choses véritablement grandes et belles se fondent et se développent, personne n'y prend garde, ou plutôt on n'y songe que pour en signaler, en exagérer même les imperfections. En revanche, tout ce qui se fait à l'étranger a le don d'exciter notre admiration : on voudrait même

implanter chez nous des institutions qui ne conviennent ni à notre caractère, ni aux besoins de notre pays.

En ce qui concerne les voies ferrées, toutes les nations cherchent la solution du grand problème des rapports à établir entre l'État et les chemins de fer; la France seule a trouvé cette solution, tout le monde à l'étranger le reconnaît et le proclame, mais chez nous on dit que tout est à refaire.

Rapports entre les chemins de fer et l'État. — Les chemins de fer sont, personne ne le conteste, le plus puissant instrument de transformation qui, depuis l'imprimerie, soit sorti de la main des hommes; aucun État ne saurait demeurer étranger à leur création et à leur fonctionnement; mais quels principes doit-on suivre à cet égard?

L'État, pour ne prendre que les grands traits des choses, doit-il construire et exploiter lui-même les chemins de fer? Doit-il, au contraire, les abandonner complétement à l'industrie privée? Est-il possible de trouver une combinaison mixte qui réunisse les avantages que peut donner la réalisation des deux premières hypothèses?

Dans la première de ces hypothèses, l'État commence par se charger d'une dette énorme; il ne peut demander qu'à l'impôt et à l'emprunt le capital nécessaire à la construction des lignes; puis, celles-ci une fois faites, il assume, s'il les exploite, une immense responsabilité. Tous les incidents que peut provoquer le détail de l'exploitation se transforment en griefs politiques. Si un train est en détresse ou seulement en retard, si un colis est avarié ou perdu, c'est le Gouvernement qui est coupable et qui est incriminé; d'un autre côté, si le commerce a réellement à se plaindre d'une exploitation faite par l'État, qui prendra la défense des intérêts du public contre une armée de fonctionnaires?

Dans la seconde hypothèse, l'État se borne à assister aux luttes qu'engendre le système de la liberté illimitée.

On multiplie les lignes dans les régions les plus riches du pays, puis on s'aperçoit que là où une ligne aurait suffi, on en a fait deux, et qu'il n'y en a pas dans des régions moins riches, et qui cependant auraient eu bien besoin d'une voie de fer. Il faut alors que les recettes couvrent l'intérêt d'un double capital, et la concurrence a pour conséquence *l'élévation des tarifs* (*).

Solution en Belgique. — Toutes les nations de l'Europe sont, en ce moment même, aux prises avec les plus sérieuses difficultés.

En Belgique, l'État, propriétaire des lignes principales du pays, s'est aperçu qu'à côté de ces lignes se constituaient des artères nouvelles, et, pour éviter la concurrence, il rachète à grand prix des chemins qui font double, triple ou quadruple emploi; puis, chaque parti politique se fait une arme de l'abaissement des tarifs, et l'on peut prévoir le moment où le capital consacré à la construction des chemins de fer ne recevant aucune rémunération, il faudra demander cette rémunération à l'impôt.

Solution en Allemagne. — En Allemagne, mêmes difficultés. Propriétaire d'une partie des lignes, le Gouvernement impérial voudrait racheter toutes les autres; mais, s'il étendait à l'ensemble du réseau les expériences qu'il a tentées en Alsace-Lorraine sur les tarifs, il faudrait ouvrir un grand-livre de la dette publique comprenant à peu près tout le capital de la construction.

En Autriche-Hongrie, en Italie, les gouvernements ont construit des lignes; ils les ont vendues; ils les rachètent à des prix qui ruinent les actionnaires, étrangers, il est

---

(*) Ce fait est aujourd'hui hors de toute contestation; il a été établi en Angleterre au moment de la grande enquête sur les tarifs, et, en Belgique, M. Jamar, ministre des travaux publics, a déclaré à la tribune que les effets de la concurrence étaient essentiellement éphémères et qu'elle aboutissait toujours à un renchérissement des transports.

vrai; puis, le rachat opéré, en Italie notamment, on se demande ce que l'on va faire, c'est-à-dire s'il faut garder les lignes ou s'il ne convient pas, au contraire, de les vendre à nouveau ou au moins de les affermer.

Solution en Angleterre. — En Angleterre, le Parlement multiplie les enquêtes; le public s'étonne de voir les compagnies se fondre les unes dans les autres et constituer des associations qui ressemblent absolument aux compagnies françaises; on s'afflige du régime des concessions perpétuelles et l'on cherche s'il ne vaudrait pas mieux doter le pouvoir central de moyens de contrôle qui semblent lui avoir fait défaut jusqu'ici.

Solution aux États-Unis. — Quant aux États-Unis d'Amérique, le régime de la liberté absolue a peut-être produit des fruits abondants, mais pour la plupart bien amers. Une note, écrite de la main de M. de Franqueville et portant la date du 1er mars 1876, contient, au sujet des *chemins de fer en faillite* aux États-Unis, les renseignements ci-après, recueillis dans des journaux américains :

Le nombre des compagnies de chemins de fer, tombées en faillite au 31 janvier 1876, s'élevait à 125.

Leur passif, *en obligations seulement*, était de.	4.155.028.624 fr.
Sur ce chiffre, il a été fourni par les Américains.	2.824.728.624
Par les étrangers.	1.330.300.000

Ce calcul néglige le capital-actions entièrement perdu (*), ainsi que les augmentations passagères attribuées aux obligations par les spéculateurs ou leurs dupes.

Le nombre des voies construites dépasse les besoins industriels du pays; l'état d'entretien d'une certaine quan-

(*) Sur bien des lignes, le capital-actions paraît n'avoir jamais existé que sur le papier. On ne demandait au public que des obligations. Ce système a été importé en Europe.

tité laisse beaucoup à désirer, et l'on peut trouver dans ce fait l'explication de ces accidents épouvantables qui surprennent si souvent les lecteurs européens.

Le pays a-t-il au moins obtenu de cette surabondance de lignes des prix extraordinairement réduits? Une dépêche, publiée il y a quelques jours par les journaux français, va nous répondre :

« La guerre des chemins de fer américains est terminée. « Les lignes du New-York Central, de l'Érié, de l'Ohio et « de la Pensylvanie, ainsi que *quarante-deux autres*, ont « contracté *samedi* un arrangement par lequel elles con- « sentent une base permanente et uniforme des tarifs. Les « tarifs du fret des marchandises destinées aux villes si- « tuées sur la côte et aux ports de mer sont augmentés de « plus de 50 p. 100. L'exécution de ces nouveaux tarifs « doit commencer demain *lundi*. »

Le gouvernement local ou fédéral est absolument désarmé devant de pareils faits.

La France seule a trouvé la solution. — La France seule nous paraît avoir résolu, en matière de chemins de fer, le problème si difficile de la conciliation de ces deux grands principes : *l'autorité et la liberté.*

Le territoire a été divisé en six grandes circonscriptions, et, dans chacune d'elles, tous les chemins de fer ont été, sauf quelques exceptions peu importantes, concédés à une même compagnie.

Des cahiers des charges, très-bien conçus, définissent les droits de l'État et ceux des concessionnaires. Libres de se mouvoir dans des limites déterminées, les conseils d'administration de ces compagnies et les chefs de service investis de leur confiance s'efforcent à l'envi de développer les relations commerciales, de les créer même là où elles n'existent pas encore.

Dans chaque réseau, les différents modes d'exploitation technique, les perfectionnements à apporter au matériel

roulant, les questions relatives au mode de recrutement, aux caisses de secours, aux pensions de retraite d'un personnel qui comprend aujourd'hui plus de 200.000 hommes, tous ces problèmes sont étudiés chaque jour avec ardeur et dans des vues différentes, mais dont la diversité même est une garantie de progrès véritable et de succès.

En même temps, l'État, investi de droits considérables, par ces mêmes cahiers des charges, exerce sur les compagnies une surveillance de tous les instants.

Par les ingénieurs du contrôle et tout le personnel du commissariat, il est instruit du moindre incident qui se produit sur les voies.

Aucune taxe n'est perçue sans avoir été homologuée, c'est-à-dire sans que, par un examen approfondi, il ait été constaté qu'elle est conforme aux conditions du contrat.

Par l'inspection des finances, l'État pénètre dans tous les détails de la comptabilité des compagnies.

En temps de paix, on le voit, l'État est en mesure d'intervenir à tous instants dans la gestion même des compagnies de chemins de fer et de protéger le public, s'il en était besoin, contre ce qu'on appelle l'omnipotence du monopole.

En temps de guerre, c'est bien autre chose. Le matériel immense des compagnies, machines, voitures et wagons, leur nombreux personnel discipliné et hiérarchisé, passent, du jour au lendemain, à la disposition de l'État; les ateliers des compagnies, véritables arsenaux, sont prêts à exécuter les commandes les plus diverses, à moudre du blé et à fabriquer des armes.

Enfin, dans 80 ans, le réseau total, qui aura coûté près de 15 milliards, sera complétement amorti; tout le capital-actions et obligations aura été remboursé par des prélèvements annuels sur les recettes de l'exploitation, et l'État entrera en pleine possession d'une propriété suffisante pour éteindre la dette publique.

Voilà ce qui existe en France, ce que les étrangers étudient et admirent en regrettant que chez eux on se soit écarté, dans un sens ou dans l'autre, de ce système d'équilibre entre l'État et les compagnies, de ce que, dans les enquêtes anglaises, on a nommé le *système français*, ne craignons pas d'ajouter le *système de M. de Franqueville.*

On peut définir ce système en peu de mots :

L'association de l'État et des compagnies, constituée en vue d'assurer l'achèvement du réseau national, les bénéfices des lignes prospères étant reportés en partie sur les lignes improductives.

Aucune industrie, dans aucune nation, n'a réalisé un pareil programme.

Caractère de M. de Franqueville. — Cette notice serait incomplète si nous ne cherchions pas à rappeler quelques souvenirs se rattachant à la personne même de M. de Franqueville. Il était d'une taille élevée, un peu courbé dans ses dernières années; il était demeuré très-mince. Je le vois, il y a 35 ans. On eût difficilement trouvé un cavalier plus accompli et possédant plus de grâce et de distinction : la distinction, il l'a gardée jusqu'à son dernier jour ; la grâce avait été remplacée par l'aménité de l'homme qui occupe un poste élevé.

S'il disait à celui de ses camarades d'école qui l'appelait *Monsieur le directeur général* : « Tu te moques de moi », aucun ingénieur n'oubliait qu'il parlait à son directeur général.

Nous avons dit ses relations avec ses 35 ministres. Il n'est peut-être pas un de ces personnages politiques qui ne soit demeuré son ami. Au ministère, — nous ne dirons pas au-dessous de lui, il avait l'art infini d'élever en apparence jusqu'à lui le plus modeste de ses collaborateurs, — il a rencontré toujours le plus absolu, le plus respectueux dévouement. Jamais une parole dure ni même sévère; si, dans les nombreux documents qui passaient sous ses yeux, une er-

reur était commise, et il avait pour les découvrir un don merveilleux, il ne songeait pas à réprimander le coupable, il cherchait avec lui le moyen de redresser cette erreur.

La porte de son cabinet était rarement fermée, et il recevait toutes les personnes qui avaient à lui parler. Souvent ses préoccupations étaient extrêmes; il souffrait en outre assez fréquemment. Lui annonçait-on une visite, préoccupations, souffrances, tout paraissait oublié, et le visiteur se retirait convaincu que le directeur général n'avait pas à songer à une affaire autre que celle dont il venait de l'entretenir, peut-être de l'ennuyer.

M. de Franqueville avait, du reste, une qualité précieuse: il n'oubliait aucune affaire. En fait de travaux publics, il gardait toujours le souvenir du point précis où une question était arrêtée; il savait quel était le document promis ou réclamé et il disait ce qu'il fallait faire pour aller en avant.

Il traitait à la fois les affaires les plus dissemblables. Souvent, pendant que nous discutions avec lui des questions relatives aux chemins de fer de l'Est, un de ses chefs de service entrait, s'excusant de l'interrompre, mais lui demandant une instruction pour une affaire urgente. La chose pouvait concerner la Bretagne ou les Hautes-Pyrénées. M. de Franqueville savait à l'instant ce dont il s'agissait et il répondait de la manière la plus précise; après deux ou trois incidents de ce genre, il reprenait la discussion au point, au mot même où elle avait été suspendue.

Sur les questions de législation, de jurisprudence, de précédents, comme on dit en administration, sa mémoire était prodigieuse; il retrouvait, sans effort apparent, le texte dont il avait besoin. Au moment où les lois concernant les travaux publics allaient être soumises aux délibérations des Chambres, M. de Franqueville avait véritablement la fièvre. Tous les budgets antérieurs, tous les documents relatifs à la question qui allait être débattue à

la tribune étaient revus, analysés par ses chefs de service ou par lui, et classés dans sa tête avec un ordre admirable. Nous lui disions qu'il se rappelait ses examens de sortie de l'École polytechnique. Il se creusait la tête pour savoir sur quels points il pourrait bien être interrogé; il cherchait et, pour parler le langage de l'École, il piochait tous les cas possibles. Le grand jour arrivait; la loi était votée sans observation, ou sans observation comportant une réponse qui utilisât le labeur auquel M. de Franqueville et ses collaborateurs s'étaient livrés.

Probité. — Un dernier mot. Faut-il parler de la probité de M. de Franqueville? J'ai longtemps hésité à le faire; il me semblait que c'était presque faire injure à sa mémoire. J'ai parcouru un grand nombre de notices consacrées à d'éminents ingénieurs des ponts et chaussées ou des mines, jamais on n'a songé à dire qu'ils avaient été de très-honnêtes gens; la chose est trop naturelle.

J'ai cependant trouvé une exception à ce silence si général. Voici en quels termes, dans une notice trop peu connue (*) et à laquelle nous avons déjà emprunté quelques lignes, un grand écrivain parle d'un grand administrateur; voici ce que M. Villemain écrivait de son condisciple, M. Legrand :

« Jamais homme ne porta plus loin et ne maintint pour « soi avec plus de scrupule ce désintéressement qui, sans « doute, est un devoir, mais qu'on peut, à cause des exem- « ples contraires, nommer souvent une vertu. Contribuant « à la répartition de tant de secours et parfois de faveurs, « consulté à l'origine pour la direction de tant d'entre- « prises, Legrand, sous aucun prétexte, sous aucune forme, « ne voulut jamais accepter, ni même acquérir à titre direct « ou indirect la moindre part dans les avantages que ces

(*) *Biographie générale*, publiée par M. Didot.

« entreprises pouvaient offrir. Aussi, durant une influence « administrative de plus de vingt ans, son modique patri- « moine ne s'augmenta pas dans la plus légère propor- « tion.... Il ne laisse à ses enfants en son nom que ce qu'il « avait lui-même reçu en héritage, une somme de 60.000 fr. « Quant à la fortune de sa femme et de ses enfants, bien « plus attentif à la conserver irréprochable qu'à l'accroî- « tre, il évita soigneusement d'en rien placer sur aucune « des entreprises formées en France et dont il aurait pu « seconder ou seulement pressentir le succès. »

Nous ne pouvons, à notre grand regret, pour louer dignement M. de Franqueville, trouver des termes aussi délicats; la plume de M. Villemain ne se transmet pas, mais nous dirons :

A une époque pendant laquelle faire fortune a été le but suprême pour bien des gens, un ingénieur a traité pendant quarante années les plus grandes affaires industrielles de son pays; il a rédigé de sa main des conventions relatives à des travaux qui ont coûté plus de 10 milliards de francs. Les combinaisons financières que cet ingénieur a imaginées, soutenues à la tribune, ont sauvegardé la fortune d'un nombre immense de familles. Cet homme de bien a laissé à son fils 3.000 livres de rente représentées par un grand nombre de titres. Quand M. de Franqueville avait économisé 2.000 francs, il achetait 100 francs de rente.

Voilà ce qu'ont été, au siècle des manieurs d'argent, M. Legrand et M. de Franqueville.

La probité de M. de Franqueville était, du reste, universellement connue, et, pour lui rendre hommage, on s'est servi un jour d'une expression bien forte. Après avoir dit qu'il repousserait des demandes de concessions nouvelles faisant double emploi avec des chemins existants, le directeur général ajoutait qu'il n'était nullement hostile aux personnes, mais qu'il n'avait qu'une ligne de conduite : suivre ce qui lui paraissait être l'intérêt du pays. « Nous ne

le savons que trop, lui répondit son interlocuteur, *c'est ce qui vous rend si formidable.* »

Inflexible lorsqu'il s'agissait des intérêts de l'État, M. de Franqueville était presque sans défense devant les appels faits à sa propre bourse; le nombre des demandes qu'il recevait était considérable, et l'on éprouvait bien rarement un refus. Tous ceux qui s'adressaient à lui étaient sûrs d'être écoutés, si humble que fût leur position. Il avait une sympathie particulière pour les veuves qui avaient des fils à élever, et rien ne lui coûtait pour leur venir en aide : « Cela me rappelle ma mère, disait-il; si elle n'avait pas « trouvé des appuis, si quelques bons amis ne l'avaient « pas aidée, que serait-elle devenue? Que serais-je aujourd'hui moi-même? J'éprouve une véritable jouissance à « pouvoir faire pour les autres ce qui a été fait jadis pour « nous. »

Peut-être sa bonté est-elle devenue quelquefois de la faiblesse. Peut-être ses bienfaits n'étaient-ils pas tous mérités. Ses amis le lui disaient; il le reconnaissait et il recommençait.

Buste à élever à M. de Franqueville. — Il n'existe pas de bon portrait de M. de Franqueville. On peut le reconnaître dans un grand tableau de Lazerges représentant l'empereur Napoléon III distribuant des secours aux inondés de Lyon; mais cela est bien insuffisant. Quelques cartes photographiées ont été faites dans les derniers mois de sa vie. Il eût fallu le pinceau d'un grand peintre pour fixer sur la toile une figure fine et sérieuse qui s'illuminait souvent d'un bon et franc sourire.

L'École des ponts et chaussées possède les bustes de Trudaine, de Lamblardie, de Prony, de Fresnel et celui de M. Legrand; la salle des séances du conseil de l'École contient la collection des portraits des ingénieurs éminents qui, depuis Perronet, ont dirigé ce grand établissement.

Prenant une initiative qui l'honore, le conseil général

des ponts et chaussées a demandé que le buste en marbre de M. de Franqueville fût placé dans une des salles de l'École; cette proposition a été accueillie avec le plus vif empressement par M. le ministre des travaux publics.

Nous demandons plus encore : le buste de ce grand serviteur du pays a droit, au palais de Versailles, à une place dans les longues galeries consacrées au souvenir de toutes les gloires de la France.

Paris, le 9 février 1877.

ÉTATS DE SERVICE

DE

M. DE FRANQUEVILLE (ALFRED-CHARLES-ERNEST-FRANQUET),

Né à Cherbourg (Manche) le 9 mai 1809,

Décédé à Aix-les-Bains (Savoie) le 29 août 1876.

1° Corps des ponts et chaussées.

20 nov. 1829. — Élève ingénieur.
1er mai 1833. — Aspirant ingénieur.
20 mars 1835. — Ingénieur ordinaire de 2e classe.
5 mai 1840. — Ingénieur ordinaire de 1re classe.
1er déc. 1845. — Ingénieur en chef de 2e classe.
23 janv. 1852. — Ingénieur en chef de 1re classe.
23 janv. 1855. — Inspecteur général de 2e classe.
21 juin 1863. — Inspecteur général de 1re classe.
10 août 1870. — Vice-président du conseil général des ponts et chaussées.

2° Administration centrale des travaux publics.

23 oct. 1838. — Chef de la section de la navigation.
22 déc. 1841. — Chef de la division de la navigation et des ports.
15 nov. 1853. — Directeur des ponts et chaussées.
12 juill. 1855. — Directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer.

3° Conseil d'État.

19 sept. 1857. — Conseiller d'État en service ordinaire hors section.
17 août 1872. — Conseiller d'État en service extraordinaire.

4° Conseils et commissions.

10 nov. 1854. — Membre du comité consultatif des chemins de fer.
2 oct. 1858. — Vice-président du conseil supérieur du drainage.
28 nov. 1858. — Membre du conseil général de la Côte-d'Or.
5 août 1861. — Vice-président du conseil général de la Côte-d'Or.
12 mai 1869. — Commissaire français pour le règlement de l'affaire des chemins de fer belges.
18 nov. 1869. — Membre du conseil supérieur du commerce, de l'agriculture et de l'industrie.
6 janv. 1872. — Vice-président de la commission centrale des chemins de fer.
10 oct. 1872. — Membre du conseil supérieur de la guerre.

5° Ordre de la Légion d'honneur.

21 août 1842. — Chevalier.
16 nov. 1848. — Officier.
14 août 1861. — Commandeur.
12 août 1868. — Grand-Officier.

6° Ordres étrangers.

6 oct. 1857. — Commandeur de la Couronne de chêne (Pays-Bas).
1er mai 1861. — Commandeur de 1re classe du Lion de Zähringen (Bade).
5 janv. 1864. — Commandeur, avec plaque, du Christ (Portugal).
16 juill. 1867. — Grand-Officier de Léopold (Belgique).
17 juill. 1870. — Grand-Croix de Saint-Grégoire-le-Grand (États-Pontificaux).

TABLE DES MATIÈRES.

I. — Enfance et jeunesse de M. de Franqueville ; ses travaux jusqu'à son entrée au ministère des travaux publics : 1809-1838.

II. — Ministère des travaux publics.— Section de la navigation.— Direction des ponts et chaussées : 1838-1855.

III. — Direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer : 1855-1876.

PREMIÈRE PARTIE : 1855-1870.

IV. — Direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer : 1855-1876.

DEUXIÈME PARTIE : 1870-1876.

V. — Derniers jours de M. de Franqueville. — Hommages rendus à sa mémoire. — Grandeur de l'œuvre accomplie.

ENQUÊTE

SUR

LES EXPLOSIONS DE CHAUDIÈRES A VAPEUR

EN GRANDE-BRETAGNE.

Analyse et traduction, par extraits, par M. E. SAUVAGE,
ingénieur des mines.

La chambre des communes a nommé, en 1870, une commission chargée de rechercher les causes des explosions de chaudières à vapeur, et les meilleurs moyens de les prévenir. Cette commission, composée de 19 membres, s'est ajournée après avoir tenu neuf séances, pendant lesquelles diverses personnes compétentes ont été interrogées; elle a été réunie de nouveau pendant la session de 1871, et le rapport définitif a été cette fois adopté, après neuf autres séances, pendant lesquelles l'enquête a été continuée de même.

Les personnes consultées sur la question étaient des ingénieurs, des industriels et même des ouvriers. Les comptes rendus complets des séances, avec les questions posées et les réponses, sont fort longs, et ils renferment plusieurs faits intéressants; j'ai cherché à les résumer dans les pages qui suivent; ce résumé paraîtra décousu, mais c'est la faute du sujet même et du genre d'ouvrage que j'analyse. Je reproduirai ensuite les conclusions de la commission et quelques tableaux statistiques.

Déposition de Sir William Fairbairn, *ingénieur civil.*

Le célèbre ingénieur Sir William Fairbairn cite l'exemple de l'association de Manchester, qui a pour objet l'inspection des chaudières; il pense qu'une visite des chaudières, dans toutes leurs parties, une fois par an, et des inspections plus sommaires, des parties extérieures seulement, tous les trimestres, feraient cesser presque tous les cas d'explosion. Il recommande le système de

l'association volontaire plutôt que celui de l'inspection par des agents du gouvernement.

Les causes principales des explosions sont, d'après lui :

1° L'excès de pression;

2° L'aplatissement des corps cylindriques intérieurs, qu'il convient de renforcer, quand ils sont longs, par une, deux, ou trois ceintures de fer en T;

3° La corrosion des tôles.

Sur la question de l'épreuve, Sir William Fairbairn est d'avis qu'il ne faut jamais dépasser le double de la pression de marche, ni le quart de la pression de rupture.

Il critique enfin la composition des jurys en cas d'accidents de chaudières : ces jurys sont en général incompétents, et ils rendent à tort des verdicts de « mort accidentelle », au lieu de rechercher et de punir les personnes responsables.

Déposition de M. LAVINGTON E. FLETCHER, *ingénieur civil.*

M. Lavington E. Fletcher commence par citer des exemples terribles d'explosions : celle des forges de Millfields, près Bilston, le 15 avril 1862 (29 tués); celle des forges de Masbro', le 3 décembre 1862 (13 tués); celle des forges d'Aberaman, le 17 février 1864, où deux chaudières ont éclaté à la fois (13 tués); celle des forges de West Bromwich, le 1er mars 1864 (12 victimes). L'explosion de Bingley, le 9 juin 1869, a tué 15 personnes et en a blessé 33; parmi les victimes on compte beaucoup d'enfants d'une école voisine.

Il y a en moyenne, d'après lui, dans le Royaume-Uni, 50 explosions par an, tuant 75 personnes et en blessant autant. La cause de ces explosions ne serait pas, le plus souvent, un excès de pression, mais le mauvais état des chaudières; c'est soit le fabricant, soit le propriétaire, soit le chauffeur qui est responsable.

Sur 58 explosions arrivées en 1869,

26	ont été causées	par des vices de construction;
15	—	par le mauvais état des chaudières;
7	—	par l'abaissement excessif du niveau de l'eau;
1	a été causée	par l'emploi de substances antiincrustantes (ayant rendu l'eau pâteuse);
1	—	par des coups de feu violents.

Sur les 8 autres cas on n'a pas de détails.

Sur 297 cas d'explosions étudiés :

120 (40 p. 100)	proviennent	de vices de construction;
88 (29 p. 100)	—	de mauvais état;
44 (15 p. 100)	—	de la rupture des lignes de rivets au fond des chaudières chauffées extérieurement;
38 (13 p. 100)	—	de l'abaissement excessif du niveau de l'eau;
6	—	d'incrustations;
1	provient	de l'emploi de substances antiincrustantes;
1	—	de coups de feu;
5	proviennent	de la surcharge des soupapes;
1	provient	de l'existence d'un réchauffeur mal combiné.

Sur les 297 explosions, on peut dire d'une seule qu'elle est réellement *accidentelle*.

Les *vices de construction* sont le plus souvent : l'absence de cercles en T aux corps cylindriques intérieurs; — l'absence d'un anneau suffisant au bord du trou d'homme (surtout dans les très-petites chaudières, pour grues, etc.); — la transformation de chaudières de Cornouailles par l'enlèvement du corps intérieur, sans addition de tirants (les fonds, n'étant plus entretoisés, sont trop faibles); — la mauvaise disposition des soupapes [par exemple, dans une chaudière qu'il a vue, un ressort agissait directement sur la soupape et un seul tour d'écrou augmentait la charge de 80 livres par pouce carré (5k,6 par cent. carré); il n'y avait pas, d'ailleurs, de repère pour guider l'ajusteur]; — la mauvaise disposition des tubes de niveau d'eau, etc.

Le *mauvais état* consiste ordinairement en l'amincissement des tôles, par corrosion intérieure ou extérieure.

M. Fletcher est d'avis de rendre l'inspection des chaudières obligatoire; l'insouciance de beaucoup de propriétaires de chaudières, qui ne se soumettent pas volontairement à une inspection, rend cette mesure nécessaire, selon lui. En premier lieu, toute chaudière devrait être vérifiée avant d'être mise en service; ce serait une commission centrale, élue par les industriels et composée de propriétaires de chaudières, d'ingénieurs, etc., qui serait chargée de ce soin. Elle nommerait des inspecteurs, et, en outre, il y aurait des sous-commissions en divers points du royaume. La chaudière en service serait, ensuite, périodiquement inspectée.

Déposition de M. Charles Thompson.

M. Thompson discute de même l'organisation à adopter pour l'inspection des chaudières et arriver à des conclusions analogues à celles de M. Fletcher.

Déposition de M^r. Henry Hiller.

M. Hiller donne un tableau des causes de 223 explosions :

Corrosion externe	36
Manque d'eau	36
Rupture de lignes de rivets au-dessus du foyer (f. extérieur)	29
Armatures insuffisantes, défauts de construction	29
Faiblesse de foyers intérieurs	29
Excès de pression	24
Rainures se creusant intérieurement dans les tôles	9
Corrosion interne	8
Faiblesse du trou d'homme	5
Défauts (pailles) dans la tôle	5
Dépôts épais sur les tôles du foyer (extérieur)	2
Aplatissement du foyer (intérieur) par suite de dépôts	1
Corrosion externe d'une boite à feu en cuivre (de locomotive)	1
Entretoises trop faibles (locomotive)	1
Faiblesse du couvercle du trou d'homme	2
Rupture d'un fond	1
Mauvais arrangement des carneaux	1
Absence de soupape	1
	220

C'est dans les houillères et les forges qu'il y a le plus d'explosions. Les chaudières des houillères sont généralement des chaudières cylindriques simples ; la cause de leur explosion est ordinairement l'emploi de mauvaises eaux et l'épaisseur des dépôts qu'elles forment.

M. Hiller décrit un cas intéressant d'explosion : deux chaudières communiquaient et le tuyau d'alimentation n'était pas muni de clapets convenablement disposés pour empêcher le retour de l'eau ; l'eau d'une des chaudières fut chassée dans l'autre, les corps intérieurs contenant les foyers rougirent et s'aplatirent.

La corrosion externe provient souvent de l'humidité entretenue par les fuites. C'est au contact des briques que les tôles s'amincissent ; il faudrait parfois les ôter en partie pour vérifier l'état de la chaudière.

M. Hiller est d'avis que l'inspection des chaudières devrait être obligatoire ; elle serait exercée par les autorités locales, sous la surveillance du gouvernement.

M. Hiller montre un bouchon fusible qu'il recommande pour les chaudières à foyer intérieur. Ce bouchon est formé de deux cônes emboîtés non fusibles, réunis par l'alliage fusible (étain et plomb ou bismuth).

Déposition de M. William Richardson.

Les causes des accidents sont la faiblesse des chaudières et le manque de soin. M. Richardson est d'avis de faire chaque année (ou plus fréquemment, s'il y a lieu, et après chaque réparation) une épreuve à la presse hydraulique, à 50 p. 100 au-dessus de la pression de marche. Il estime qu'il conviendrait de rendre cette épreuve, ainsi que l'inspection, obligatoire. Il regarde les compagnies d'assurance contre les explosions comme fâcheuses au point de vue de la sécurité.

Comme recommandation technique, il ajoute que les tôles des chaudières ne devraient pas toucher directement les briques et le mortier.

Déposition de M. John Anderson.

M. Anderson est le directeur des machines au département de la guerre. Toutes les chaudières, dans son service, sont nettoyées à fond et examinées après 300 heures de marche, si elles n'ont aucun dispositif spécial de nature à prévenir les incrustations, et après 500 heures si elles en ont; on les éprouve à deux fois la pression de marche, à l'eau chaude; en outre, chaque année, elles sont visitées par les inspecteurs de l'association de Manchester. Au nombre de 180, elles n'ont donné lieu à aucun accident. M. Anderson signale l'usure locale et les trous qui se forment rapidement dans les tôles en certain points particuliers.

Déposition de M. James Nasmyth.

Les causes des explosions sont, d'après M. Nasmyth :

1° La détérioration;

2° La mauvaise construction;

3° Les mauvais matériaux;

4° Le manque d'eau;

5° L'excès de pression.

Les dilatations et contractions successives usent les chaudières, qui tôt ou tard s'affaiblissent à un tel degré que l'explosion est à craindre. Il faut les mettre à temps hors de service. L'inspection est donc nécessaire à ce point de vue.

M. Nasmyth est d'avis qu'il faut faire une épreuve à la presse hydraulique, au moins au double de la pression de marche, et rendre l'inspection obligatoire.

Il signale le creusement des rainures dans les tôles, souvent au

bout de très-peu de temps (par exemple dans les locomotives) près des lignes de rivure; M. Nasmyth est d'avis que pour les découvrir il convient de percer parfois dans les tôles de petits trous extrêmement fins, que l'on bouche ensuite aisément. On lui demande si pendant l'épreuve à la presse hydraulique il convient de frapper les tôles au marteau, et il répond qu'il n'y voit pas d'inconvénient. L'épreuve à l'eau froide est plus sévère que celle à l'eau chaude ou tiède, à égalité de pression.

Il pense aussi que l'ébullition de l'eau privée d'air, qui se fait par soubresauts, peut être la cause de quelques explosions.

On devrait édicter des peines contre le propriétaire et le constructeur (s'il y a lieu) d'une chaudière qui a éclaté.

Les causes probables des explosions de chaudières (*) peuvent être classées ainsi qu'il suit :

1° Affaiblissement de la force primitive;

2° Mauvaise construction;

3° Mauvaises qualités de matières premières;

4° Malfaçons, originales ou dans les réparations;

5° Défaut d'alimentation;

6° Excès de pression.

1° Usure par corrosion générale ou locale, provenant souvent de fuites qu'on ne voit pas ou auxquelles on ne peut accéder; mauvaises réparations des parties d'accès difficile, faites souvent à la hâte et généralement dans des conditions contraires à un travail bon et soigné.

2° Toutes les causes du n° 1 sont aggravées par la mauvaise construction : j'entends par là des formes et des dispositions mal combinées pour résister aux efforts que la chaudière aura à subir.

3° Tôles et rivets de qualité inférieure, cassants, sujets à se rompre, sous l'influence des dilatations et contractions continuelles. Le résultat est souvent la formation de fissures entre les trous de rivets, ou d'un de ces trous au bord de la tôle.

4° Se manifestent le plus souvent par des fuites, qui, si elles se produisent dans des parties de la chaudière difficiles à visiter, produisent des corrosions locales qui sont une source de danger : une petite fuite invisible est, à ce point de vue, plus dangereuse qu'une grande qu'on verrait de suite. — Une malfaçon fertile en dangers est le percement irrégulier des trous de rivets et l'emploi postérieur d'un poinçon conique qui affaiblit beaucoup ou

(*) Ce qui suit est la traduction d'une notice remise par M. Nasmyth.

fend les tôles. — Les tôles cassantes se fendent quand on les plie. — Des rivets martelés jusqu'à ce qu'ils soient presque froids deviennent cassants et peu résistants. — Des réparations sont souvent faites dans des conditions où il est difficile d'exécuter un bon travail.

5° Ne produit pas toujours une explosion immédiate, mais affaiblit la partie surchauffée. — Ce sont surtout les chaudières à foyer intérieur qui souffrent de l'abaissement du niveau.

6° Provient de mauvaises soupapes avec un affaiblissement local ou général de la chaudière.

D'ailleurs, en général, plusieurs de ces causes se combinent pour produire un accident, dont il devient alors difficile de trouver la raison.

Déposition de M. William MAC NAUGHT.

M. Mac Naught préside la *Boiler insurance and steam power C°*. Cette compagnie a pour objet l'inspection des chaudières et le payement d'une prime d'assurance déterminée en cas d'explosion. En cas de dégât partiel, la compagnie le paye également (les sommes payées de ce chef sont vingt fois plus considérables que celles payées pour explosions véritables). Elle a des inspecteurs dans tous les grands centres d'industrie : à Manchester d'abord, où en est établi le siége, en Irlande, à Londres, Édimbourg, Glasgow, etc. M. Mac Naught pense que la prime d'assurance a pour effet de donner aux possesseurs de chaudières plus de confiance dans l'inspection.

Plus de 12.000 chaudières sont assurées auprès de cette compagnie qui, d'ailleurs, ne les accepte pas toutes ; elles doivent offrir certaines conditions de sécurité (on en refuse environ 20 p. 100). Toutes les chaudières assurées sont inspectées. Cette inspection est parfois difficile, parce que le propriétaire des chaudières ne veut pas les mettre hors feu : dans ce cas, on les inspecte le mieux qu'on peut, en examinant l'extérieur, les soupapes, etc. Dans les grandes usines, d'ailleurs, il y a généralement 1 ou 2 chaudières de rechange, et de ce chef les inspecteurs n'éprouvent pas de difficulté. Chaque chaudière est inspectée quatre fois par an en moyenne ; on n'assure jamais une chaudière sans une inspection préalable et complète, faite avec d'autant plus de soin que cette chaudière est plus ancienne et que les eaux du pays sont plus mauvaises.

Il y a eu 20 explosions des chaudières assurées par la compagnie,

depuis 1859 jusqu'en 1870, tandis que, proportionnellement, la « *Steam users' association* », de Manchester (présidée par Sir William Fairbairn), en aurait eu 27 (?).

M. Mac Naught pense qu'il serait bon d'établir partout l'inspection des chaudières; mais il ne croit pas qu'on arriverait à prévenir ainsi toutes les explosions, mais peut-être les trois quarts. En prenant la moyenne générale des explosions en Angleterre, on trouve que la compagnie en préviendrait 60 p. 100; mais il est vrai qu'elle n'assure que les chaudières qu'elle considère comme bonnes.

M. Mac Naught est d'avis qu'il serait bon d'adjoindre aux jurys d'enquête sur les explosions un ou deux commissaires compétents, avec pouvoirs spéciaux pour poursuivre les personnes responsables. Il faudrait alors que le gouvernement eût le droit de faire inspecter les chaudières après les accidents, partiels ou graves.

La compagnie d'assurance a un inspecteur par 500 chaudières, plus un ingénieur en chef et 5 ingénieurs en second. Les inspecteurs sont payés 120 à 150 livres (3 à 4.000 fr.), plus leurs frais de tournées; les ingénieurs ont de 200 à 700 livres (5 à 18.000 fr.) On fait payer, pour une chaudière assurée 100 livres (2.500 fr.), si la pression est moindre que 40 livres (2^{kil},8), 20 shillings (25 fr.), par an; si la pression dépasse 40 livres, 25 shil. (31 fr.). L'assurance court toute l'année, même si le propriétaire contrevient aux règles de la compagnie; mais alors celle-ci ne la renouvelle plus l'année suivante.

M. Mac Naught pense qu'il serait utile d'inspecter les chaudières neuves, et non pas seulement chez le fabricant, mais une fois qu'elles sont mises en place, car le transport peut les fatiguer si elles sont lourdes; cette inspection préalable ne dispenserait pas, d'ailleurs, de l'inspection permanente. On ferait pour les chaudières fixes ce qu'on fait pour celles des bateaux qui transportent des passagers. (Voir p. 114.)

D'après M. Mac Naught, l'emploi pour l'alimentation d'eau chauffée par la vapeur d'échappement est dangereux, à cause des dépôts savonneux qu'elle forme: cette eau contient des corps gras, amenés par la vapeur qui a traversé les cylindres, et elle devient visqueuse dans la chaudière.

La compagnie d'assurances des chaudières ne donne pas plus de 10 p. 100 en dividendes; les commencements ont été très-pénibles. — On peut assurer aussi, auprès de cette compagnie, la vie des chauffeurs, et, en bloc, celle de tous les ouvriers de l'établis-

sement, contre le risque d'explosion ou d'incendie causé par la chaudière.

Déposition de M. Robert Bewick Longridge.

M. Longridge commence par parler de la compagnie d'assurances dont il vient d'être question. Sur 22.570 chaudières proposées, cette compagnie en a assuré en tout, depuis sa création, 19.502. Il y a eu, pendant ce temps, 20 explosions de chaudières inspectées, 8 dans des forges, 5 dans des houillères, 7 dans des manufactures diverses. 10 de ces chaudières étaient cylindriques simples, à fonds hémisphériques, et 10 étaient à foyer intérieur. Les causes des explosions des 10 chaudières cylindriques ont été :

Pour 4, l'altération des tôles ;
— 2, des réparations maladroites ;
— 3, un excès de chaleur (avec des dépôts épais) ;
— 1, la corrosion interne, provenant de l'emploi d'eaux acides.

Les 10 autres ont fait explosion :

1 par suite de la mauvaise disposition du trou d'homme, non consolidé par un anneau ;
1 par suite de l'emploi de très-mauvaises tôles ;
1 par suite de dilatations inégales (on a chauffé trop vite un matin de gelée) ;
1 par suite de réparations maladroites ;
2 par suite de la corrosion des tôles sous la chaudière ;
4 par suite de l'abaissement excessif du niveau de l'eau.

La compagnie d'assurances a actuellement 12.688 chaudières sous sa surveillance. M. Longridge suppose que le nombre total des générateurs est de 100.000 en Grande-Bretagne ; qu'il y a 50 explosions par an, tuant 80 personnes. Pour les chaudières assurées, la proportion est seulement d'une explosion sur 4.600 par an. En 1869, il y a eu 63 explosions :

19 par suite de mauvaise construction et d'altération des tôles ;
19 par suite de corrosion des tôles ;
9 par suite de négligence de la part des chauffeurs ;
3 par suite d'excès de pression ;
2 par suite de réparations maladroites ;
2 par suite de dépôts et excès de chaleur ;
1 par suite du choc du dôme d'une locomotive contre la voûte d'un tunnel (sans doute par suite d'un déraillement).

Sur 8 explosions on n'a pas de détails.

M. Longridge pense que le gouvernement devrait nommer plu-

sieurs ingénieurs pour examiner les causes des explosions. En cas de blessures ou de mort, le propriétaire d'une chaudière serait obligé, sous peine d'une amende de 20 livres (500 fr.), d'avertir l'ingénieur du district dans les 24 heures. Celui-ci viendrait visiter le théâtre de l'accident. Il serait bon aussi d'inspecter les chaudières chez les constructeurs. Les tôles devraient porter la marque de l'usine qui les livre ; il convient de remarquer toutefois, à cet égard, que même les meilleures tôles finissent par s'altérer.

M. Longridge n'aurait pas confiance, d'ailleurs, en des inspecteurs nommés par les autorités locales des villes ou par des associations de propriétaires de chaudières.

Les prix de la compagnie d'assurances sont les suivants : pour l'inspection seule, sans assurance, 17 shillings 6 pence (22 fr.) par chaudière et par an, et pour l'inspection avec assurance de 100 livres (2.500 fr.), 20 shillings (25 fr.). (Voir p. 111.)

L'épreuve à la presse hydraulique est bonne, mais en marche il y a les dilatations qui peuvent produire des efforts locaux considérables; M. Longridge pense que l'épreuve au double de la pression de marche est exagérée. Il parle ensuite des rainures qui se creusent dans les tôles (*grooves*) : fréquentes dans les chaudières à foyers intérieurs, à l'angle des tôles des fonds aux points où s'attache le corps intérieur, elles seraient dues aux mouvements de courbure que prend, par suite de la dilatation, le corps cylindrique qui contient le foyer. Quelquefois il s'en produit aussi dans le corps cylindrique le long des lignes de rivets; on les attribue aux vibrations et à l'acidité de l'eau. L'acide contenu dans les eaux se trouve concentré dans la chaudière au bout d'une huitaine de jours de marche.

Seconde déposition de M. Lavington E. Fletcher.

M. Fletcher commence par citer un cas d'explosion (le seul) d'une chaudière garantie par l'association de Manchester : le foyer (intérieur) de gauche, trop chauffé, creva, mais sans dommage au reste de la chaudière et sans blesser personne. Il y avait des dépôts très-abondants et l'on mettait dans la chaudière, comme substances antiincrustantes, beaucoup de soude et d'arsenic.

M. Fletcher est de l'avis de M. Longridge sur les causes des rainures. Elles ne se trouvent jamais en dehors des parties baignées. Dans les locomotives, les viroles sont d'une seule pièce, le joint est à la partie supérieure en contact avec la vapeur, et il doit être fait avec deux couvre-joints. De vieilles chaudières de Sharp,

Roberts et Ce, ainsi construites, ont au bout de 24 ans de service leurs joints aussi bons que quand elles étaient neuves. (Lettre de M. Armstrong.)

Parlant ensuite des locomotives, M. Fletcher dit que l'enlèvement et le montage des tubes coûte 30 livres (750 fr.).

Déposition de M. George BARKER.

M. Barker est le président de la compagnie d'inspection et d'assurances des chaudières du Midland. Cette association a été créée il y a huit ou dix ans, à la suite de divers accidents, en particulier d'une explosion dans le South Staffordshire qui avait fait 25 ou 30 victimes; le capital est de 50.000 livres (1.250.000 fr.); 1/20 seulement en a été appelé. Cette association inspecte et assure 3.000 chaudières environ; ce sont surtout des chaudières de forges et de houillères. Il y a eu trois explosions d'appareils assurés. L'une s'est produite par suite d'une rupture au joint de tôles neuves et de vieilles; une autre, parce qu'on a continué à se servir d'une chaudière malgré l'avis de l'inspecteur; dans le troisième cas on avait temporairement doublé la pression.

M. Barker ne pense pas que l'inspection doive être obligatoire et il est très-opposé à toute immixtion d'agents du gouvernement, qui devrait, selon lui, se contenter de recommander très-vivement l'inspection volontaire.

Déposition de M. E. MARTEN.

M. Marten montre 11 volumes de détails sur les explosions survenues depuis 1800, en Angleterre et à l'étranger.

Le prix de l'inspection (sans assurance) de la *Midland steam boiler inspection and insurance C^{o}* est de une livre (25 fr.) par chaudière, et pour plus de 10 chaudières, de 13 shillings (16 fr.) par chaudière. M. Marten n'est pas d'avis de rendre l'inspection obligatoire.

Déposition de M. R. GALLOWAY.

M. Galloway est inspecteur en chef des bateaux à vapeur près le *Board of Trade*. Il inspecte les chaudières marines en les ouvrant de manière à examiner aussi bien que possible l'intérieur et l'extérieur; il mesure l'espacement des tirants (entretoises) et leur section, et, d'après ces éléments, fixe la pression maxima, qui va parfois jusqu'à 100 livres (7 kilog.). Cette inspection est faite

avant la mise en marche. Elle met souvent en lumière des défauts de construction; dans ce cas on les signale au propriétaire du bateau, et il doit y remédier avant d'obtenir l'autorisation (temporaire) de transporter des passagers.

L'acte du Parlement qui régit cette matière exige que l'une des soupapes soit loin de l'atteinte du mécanicien pendant la marche. Il ne prescrit pas l'emploi de bouchons fusibles parce qu'ils ne fonctionneraient pas bien dans les chaudières marines, à cause des dépôts.

Les inspections postérieures se font à l'extérieur des chaudières le plus complétement possible, à l'intérieur complétement. Pour en voir tout l'extérieur il faudrait, en général, enlever le pont et lever la chaudière.

Les explosions de ces chaudières sont très-rares. M. Galloway en cite 3 ou 4; ce sont des chaudières à parois planes qui ont éclaté, et aussi une petite chaudière cylindrique auxiliaire, dans les conditions suivantes : cette chaudière était placée de telle sorte que l'eau y atteignait le niveau de la ligne de flottaison; pour la remplir, on ouvrait un robinet. Un jour on oublia de fermer ce robinet après avoir rempli la chaudière; on chauffa, la vapeur chassa l'eau, les tôles rougirent, et une rentrée d'eau détermina une forte explosion.

L'inspection est une bonne chose, d'après M. Galloway; d'ailleurs elle ne dégage pas, comme le prétendent ceux qui la repoussent, la responsabilité du propriétaire. Elle est quelquefois faite un peu à la hâte, quand les capitaines des bateaux sont pressés de repartir : il vaudrait peut-être mieux la faire une fois seulement par an au lieu de deux fois, et plus complétement.

M. Galloway recommanderait, pour les chaudières fixes, le système suivant : il y aurait des inspecteurs du gouvernement dans divers districts; l'acheteur d'une chaudière la ferait visiter par ces inspecteurs, et le *Board of Trade* lui délivrerait un certificat permettant de travailler à une certaine pression pendant un temps donné. Les frais de cette inspection seraient à la charge du propriétaire de la chaudière. Cette inspection ne serait pas, d'ailleurs, obligatoire; mais, en cas d'accidents, les condamnations et les dommages-intérêts seraient bien plus lourds pour les industriels qui n'y auraient pas eu recours.

Déposition de M. W. J. Rideout.

M. Rideout, fabricant de papier, possède, dans ses divers éta-

blissements, 21 chaudières. Ce sont des chaudières à foyer intérieur de 9 à 11 mètres de longueur, et de 2^m,06 à 2^m,36 de diamètre. Les tôles ont 11 à 12,5 millimètres d'épaisseur, celles des fonds ont 14 millimètres. Chaque chaudière est munie de deux soupapes, de deux indicateurs de niveau en verre, d'un manomètre; il y a aussi des soupapes sur les conduits principaux de vapeur. Autrefois il y avait des bouchons fusibles sur les foyers; mais ils ont été supprimés, parce que les incrustations les mettaient rapidement hors d'usage. M. Rideout soigne beaucoup ses chaudières, et en 30 ans il n'y a eu qu'un seul accident, sans conséquences graves, l'écrasement d'un foyer; il attribue cette absence d'accidents à la surveillance constante et à la responsabilité qu'il fait peser sur ses divers directeurs.

Il essaye ses chaudières à la presse hydraulique, mais seulement à la pression de marche. Lorsqu'on soupçonne qu'une tôle est amincie, il y fait percer un petit trou pour en mesurer l'épaisseur.

M. Rideout pense qu'une bonne inspection des chaudières, en service et pendant la fabrication, pourrait prévenir les explosions. Cette inspection devrait s'étendre aux petites chaudières agricoles, qui sont les plus dangereuses, mais qu'il serait souvent difficile de visiter.

Déposition de M. C. F. Beyer.

M. Beyer, qui est constructeur de locomotives, est d'avis qu'on devrait inspecter toutes les chaudières fixes, mais non les locomotives (les compagnies de chemins de fer étant assez soigneuses). L'inspection serait obligatoire et pourrait être exercée par une série d'associations comme celle de Manchester, reliées au moyen d'une commission centrale; le gouvernement ne jouerait, d'ailleurs, aucun rôle dans cette organisation.

Déposition du capitaine R. Robertson.

M. Robertson, inspecteur général des bateaux à vapeur, est d'avis que l'inspection obligatoire des chaudières fixes est nécessaire. Les inspecteurs seraient nommés par des commissions locales et soumis à l'approbation du *Board of Trade*, qui tiendrait un registre sur lequel toutes les chaudières seraient inscrites. Le prix de l'inspection serait payé (mais non directement aux inspecteurs) par les propriétaires des chaudières; comme terme de comparaison, l'inspection coûte, pour les bateaux, de 50 à 250 francs, selon le tonnage.

M. Robertson recommande l'emploi d'une soupape hors de l'atteinte des ouvriers, et il voudrait voir les tôles porter la marque des fabricants.

Déposition de M. J. RAMSBOTTOM.

M. J. Ramsbottom, ingénieur en chef du matériel du London and North-Western Railway (la plus grande compagnie de chemins de fer d'Angleterre), a sous sa direction 1.822 locomotives (*) et 185 chaudières fixes. Il s'est produit trois explosions de locomotives dans son matériel, depuis 29 ans : l'une, par suite du calage des soupapes; les deux autres, par suite de la corrosion des tôles. Les locomotives qui ont fait ainsi explosion provenaient de petites lignes récemment rachetées. Une locomotive peut, en général, rouler 5 ans sans être visitée intérieurement à fond (en enlevant les tubes).

M. Ramsbottom est partisan de l'inspection obligatoire des chaudières fixes, au moyen d'associations particulières. Le système d'inspection devrait avoir une certaine élasticité, selon les circonstances locales; ainsi les chaudières vieilles doivent être visitées plus souvent que les neuves.

L'épreuve des locomotives qui marchent à la pression de $8^k,4$, se fait à la presse hydraulique, à 14 kilogrammes; une fois les chaudières en service, M. Ramsbottom considère les épreuves subséquentes à la presse hydraulique comme nuisibles. Ces chaudières durent 10 ans au plus sans remplacement de viroles.

Déposition de M. H. MASON.

M. H. Mason, propriétaire de filatures, possède 7 chaudières de Lancashire, de $9^m,15$ de longueur et $2^m,13$ de diamètre.

Les explosions sont dues principalement, suivant lui, à des vices de construction ou au mauvais état des chaudières, et, dans une faible proportion seulement, à la négligence des chauffeurs.

Le développement d'associations comme celle de Manchester réduirait, à son avis, le nombre des explosions. Il faudrait pour cela rendre l'inspection obligatoire; mais elle ne devrait être exercée, ni par des agents du gouvernement, ni par des agents des autorités locales (à cause des grandes divergences qui se produiraient, dans ce dernier cas, d'un point à un autre). On nommerait

(*) On a fait récemment une fête aux ateliers de Crewe à l'occasion de l'achèvement de la 2.000e locomotive.

une série de commissions d'une douzaine de membres chacune, composées pour les trois quarts d'industriels et pour un quart de chimistes, d'ingénieurs, etc. Les propriétaires n'en resteraient pas moins responsables des accidents causés par leurs chaudières.

Déposition de M. A. Bower.

M. Bower pense que toutes les chaudières devraient être inspectées, et les petites plutôt que les grandes, d'abord chez le constructeur, puis une fois tous les ans.

Il approuve le plan de l'association de Manchester; en éclairant le propriétaire sur l'état de ses chaudières, on ne diminue pas sa responsabilité en cas d'accident, bien au contraire.

L'inspection par les agents du gouvernement pourrait entraver les progrès importants que fait maintenant la construction des chaudières; ainsi, dans l'inspection des chaudières marines, on voit des exemples de routine ; par exemple, le diamètre qu'on est obligé de donner aux soupapes est le même aujourd'hui pour une chaudière à 5 kilogrammes qu'il était autrefois pour une chaudière à 2.

Déposition de M. Mac Kittrick.

M. Mac Kittrick, ingénieur dans une usine, a sous sa direction des chaudières de Lancashire, de $2^m,13$ à $3^m,35$ de diamètre. Les plus grosses ne travaillent qu'à la pression de $1^k,6$; elles sont longues de $9^m,25$. Il n'a jamais eu d'explosion. Ces chaudières sont assurées et inspectées complétement une fois par an.

M. Mac Kittrick a fait des expériences intéressantes sur la température de l'eau dans les différenses parties d'une chaudière. Il a opéré sur une chaudière de Lancashire, de $2^m,13$ de diamètre, avec des foyers de $0^m,84$ de diamètre. On n'alimentait pas pendant toute la dnrée de l'expérience. Voici les résultats qu'il a obtenus :

	HEURES.	TEMPÉRATURE de la vapeur.	PRESSION absolue de la vapeur.	TEMPÉRATURE de l'eau au fond de la chaudière.
		Fahr. Cent.	lbs. kil.	Fahr. Cent.
Eau introduite à 90° F = 32° C.	. . . . . .	. . . .	. . . .	90° = 32°
Le feu est allumé à. . .	$6^h,40^m$	. . . .	. . . .	90 = 32
L'ébulition commence à	7 , 5	212° = 100°	14 = 1	100 = 38
	7 .18	241 = 117	24 = 1,7	112 = 45
	7 ,24	270 = 132	34 = 2,4	125 = 52

Ainsi l'eau reste très-longtemps presque froide au fond de ces chaudières, ce qui doit les fatiguer beaucoup. Pour cette raison, comme pour d'autres, les chaudières de grand diamètre sont les plus dangereuses.

M. Mac Kittrick est d'avis que la déclaration et l'inspection des chaudières devraient être obligatoires, sous la haute direction du gouvernement.

Déposition de M. R. HANSON.

M. R. Hanson, directeur d'usine, a sous sa charge 31 chaudières de Lancashire de $2^m,13$ à $2^m,44$ de diamètre, et 20 du système d'Howard (tubulaires avec l'eau dans les tubes). Les explosions de ces dernières chaudières sont insignifiantes : il y a eu 12 ruptures de tubes sans dégâts. Il faut seulement un peu d'attention pour maintenir le niveau de l'eau. Elles permettent d'atteindre une haute pression, jusqu'à $10^k,5$, ce qui économise du combustible.

M. Hanson pense qu'une inspection annuelle des chaudières est nécessaire.

Nouvelle déposition de M. L. E. FLETCHER.

M. L. Fletcher, qui paraît pour la troisième fois devant la commission, expose qu'il y a des chaudières dans les situations les plus dangereuses : il y en a sous le pavé des rues, dans les principaux clubs de Londres, et souvent les carneaux sont si étroits qu'il est impossible de les visiter : un chat n'y entrerait pas.

Déposition de M. C. B. VIGNOLES.

M. Vignoles, président de l'institution des ingénieurs civils, est d'avis que l'inspection devrait être obligatoire ; les inspecteurs seraient payés par les inspectés. Les propriétaires de chaudières nommeraient, dans chaque arrondissement, une commission qui choisirait les inspecteurs ; il faudrait aussi une commission centrale.

Déposition de M. F. J. BRAMWELL.

M. Bramwell, ingénieur civil, est opposé au système de l'inspection ; il craint qu'elle n'empêche les progrès de la construction (ainsi, pour plus de sécurité, on serait conduit à proscrire l'alimentation à l'eau chaude). D'ailleurs l'inspection ne préviendrait au plus qu'une fraction minime des explosions. Et puis une économie de combustible réalisée conserve des vies de mineurs, puis-

qu'un homme périt par 100.000 tonnes de houille extraite (*). Il y a une classe de machines détestables, celles qui ne condensent pas et marchent seulement à 2 ou 3 kilogr. (dans la chaudière) ; la consommation est énorme. Et cependant le résultat de l'inspection serait de faire, dans beaucoup de cas, baisser la pression.

Déposition de M. Th. Hawskley.

M. Hawksley, ingénieur civil, est d'avis qu'il devrait y avoir une inspection, consistant en une *épreuve*, et la vérification de l'existence de certains appareils de sûreté, rendus obligatoires. Les fabricants de chaudières auraient besoin d'une autorisation pour exercer leur industrie et seraient tenus de déclarer les chaudières qu'ils fabriquent. Cette inspection simple serait répétée tous les ans ou tous les deux ans. La durée maxima du service d'une chaudière ne peut être fixée par des règlements, parce que cette durée varie beaucoup avec les eaux, etc. — L'épreuve serait faite au double de la pression normale.

Déposition de M. W. Blake.

M. Blake, représentant de la maison James Watt and C°, considère que la proportion des chaudières qui éclatent (1/2 p. 1.000 par an) est très-faible, et estime que l'inspection obligatoire serait inutile et très-difficile à exercer.

Déposition de M. J. R. Ravenhill.

M. J. R. Ravenhill, ingénieur civil, est de l'avis du précédent témoin. Il éprouve les chaudières qu'il emploie au double de la pression normale, pour les pressions moindres que 35 lbs. (2 kilogr.), et même au triple, pour les pressions plus grandes. (Cette proportion est peu logique, car c'est pour les chaudières à basse pression que la pression d'épreuve devrait être un multiple plus fort de la pression normale.)

Déposition de M. A. Blyth.

M. A. Blyth, ingénieur, n'est pas partisan d'un système d'inspection obligatoire, excepté pour des chaudières qui sont dans des quartiers populeux ou dans des ateliers remplis d'ouvriers.

(*) Il est à peine utile de faire remarquer combien ce raisonnement est spécieux et en dehors de la question.

Déposition de M. R. WIGRAM.

M. Wigram, constructeur de chaudières, les munit de soupapes, d'indicateurs du niveau de l'eau (tubes en verre et robinets) et d'un bouchon fusible sur le haut du foyer. — Dans les campagnes, on envoie un homme avec les locomobiles pendant un mois environ pour l'instruction des paysans. Au bout de deux ans, on retourne en vérifier l'état. — M. Wigram pense que l'inspection périodique des chaudières ne servirait à rien.

Déposition de M. W. ANDERSON.

M. Anderson a vu 5 ou 6 explosions causées par la mauvaise disposition des tubes d'alimentation, qui ont laissé sortir l'eau. — Il faudrait que les enquêtes sur les explosions fussent plus sérieuses et plus sévères.

Chaque chaudière devrait avoir deux soupapes; des indicateurs du niveau de l'eau (un tube en verre et des robinets), un manomètre et des carneaux qu'on pût visiter. Il y a, d'ailleurs, de sérieuses difficultés à l'établissement d'un système d'inspection obligatoire. M. Anderson serait d'avis qu'un règlement prescrivît les appareils de sûreté qu'il vient d'énumérer.

Déposition de M. A. MURRAY.

M. A. Murray est du même avis (relativement aux enquêtes et aux appareils de sûreté). Il prescrirait en outre une épreuve au double de la pression effective et même plus forte pour les basses pressions. Il considérerait comme fâcheuse l'inspection par des agents du gouvernement, mais il en faudrait une cependant, par exemple au moyen d'associations privées.

Déposition de M. E. A. COWPER.

M. Cowper, ingénieur, ne considère pas la quantité de victimes comme grande; ce n'est que 1/28 du nombre de celles que font les voitures dans Londres. Il pense que l'inspection obligatoire serait funeste, parce que les propriétaires ne feraient plus attention à leurs chaudières. Les statistiques des compagnies d'assurances et d'inspection indiquent, selon lui, une moyenne d'accidents plutôt plus grande que la moyenne générale. Ce sont les propriétaires qui peuvent seuls bien inspecter leurs chaudières, et pour les y contraindre il faudrait des punitions plus sévères en cas d'accident.

Déposition de M. Burrows.

M. J. Burrows, ingénieur, connaît les détails de diverses explosions causées par l'abaissement excessif du niveau de l'eau, ou par des dilatations inégales dues à un feu trop actif, explosions qu'une inspection n'aurait pas prévenues. Il estime néanmoins qu'une inspection pourrait être utile, mais il est opposé à toute immixtion du gouvernement.

Dépositions de MM. J. Field, G. Horton, J. Dell *et* J. Lambert.

M. J. Field pense que les explosions proviennent le plus souvent de la négligence des chauffeurs.

M. Horton, ingénieur-mécanicien, est opposé au principe de l'inspection.

M. John Dell, mécanicien, en est au contraire partisan. Il a souvent des difficultés pour alimenter ses chaudières à cause de l'obstruction des pompes par des détritus divers.

M. Lambert, mécanicien, n'est pas satisfait de la chaudière qu'il a à conduire; il ne la considère pas comme sûre à la pression de 5 kil., à laquelle il est souvent obligé de marcher. Aussi est-il partisan du principe de l'inspection et voudrait-il voir un agent du gouvernement prescrire à son patron de changer sa chaudière ou de ne s'en servir qu'à une pression réduite.

Après avoir entendu toutes ces dépositions et en avoir délibéré, la commission est arrivée à la conclusion suivante : qu'il n'y avait pas lieu d'établir aucun système d'inspection obligatoire des chaudières, malgré l'avis d'un grand nombre des personnes consultées. La commission paraît douter de l'efficacité de l'inspection et craint qu'en pratique elle ne donne lieu à bien des difficultés. On remarquera l'aversion presque générale pour l'inspection par des agents du gouvernement. Voici du reste la traduction de ses conclusions. (Le § 1 indique les dates des séances.)

2. L'enquête à laquelle la commission s'est livrée a produit des résultats importants. Les personnes consultées sont d'accord, en général, sur les causes des explosions, mais diffèrent beaucoup sur les moyens de les prévenir.

3. L'attention de la commission a été particulièrement appelée sur l'existence de plusieurs associations libres formées dans le but

d'inspecter périodiquement les chaudières; la commission pense que les associations de ce genre rendent des services et préviennent des explosions.

4. On réduirait encore ce nombre en étendant la sphère d'action de ces associations, mais la commission pense qu'on ne pourrait atteindre ce dernier résultat qu'en rendant l'inspection obligatoire.

5. La commission ne peut manquer d'insister sur ce fait, que les chaudières sont fréquemment établies dans les parties les plus fréquentées des villes, sous le pavé de passages encombrés, dans les étages inférieurs des maisons, et au milieu d'habitations serrées;

6. Que ces chaudières sont souvent défectueuses de construction, qu'elles sont fréquemment établies de telle sorte qu'on ne peut les visiter sans les déplacer, qu'elles ne sont pas toujours munies des indicateurs de niveau et autres appareils de sûreté convenables, que les soupapes peuvent souvent être chargées par toute personne s'approchant de la chaudière, et qu'elles sont confiées trop souvent à des hommes ignorants de presque tout ce qui concerne une chaudière à vapeur.

7. Le devoir de celui qui emploie des chaudières est de faire tout son possible pour se procurer d'abord des chaudières sûres; de les munir de tous les accessoires nécessaires, de les confier à un homme ayant les connaissances convenables et de conduite régulière, de ne pas faire dépasser la pression normale, de les faire visiter de temps en temps et de les avoir toujours en bon état.

8. Des témoignages recueillis il ressort qu'il y a au moins dans le Royaume-Uni 100.000 chaudières [sans compter celles des locomotives, des bateaux et des habitations particulières (cuisines et serres)]; que ces chaudières ne se trouvent pas seulement dans les usines et manufactures, mais qu'on en emploie un grand nombre dans les campagnes et au cœur des grandes villes.

9. Autant que la commission a pu le savoir, il y aurait par an en moyenne 50 explosions, faisant 75 victimes, sans parler des blessés en grand nombre.

10. Presque toutes ces explosions sont le résultat de négligence, soit primitivement dans la construction, soit dans la conduite, soit enfin manque de réparations, montage défectueux, absence des appareils de sûreté nécessaires.

11. La commission a examiné avec beaucoup de soin les diverses propositions qui ont été faites pour l'inspection périodique de toutes les chaudières. Elle n'est cependant pas disposée à re-

commander aucun système d'inspection périodique obligatoire pour les raisons suivantes :

(*a*) Le nombre des explosions étant de 50 par an, cela fait au plus une explosion par 2.000 chaudières;

(*b*) Un grand nombre d'explosions ont des causes telles qu'elles ne pourraient être prévenues par une inspection périodique;

(*c*) Il est douteux qu'un système d'inspection obligatoire ne diminuât pas la responsabilité des propriétaires de chaudières, ceux-ci étant le mieux placés pour s'assurer de leur état et de la valeur des hommes qu'ils emploient.

12. La commission pense que le jury d'enquête (*coroners's jury*), tel qu'il est ordinairement formé, est incapable, sans l'aide de personnes compétentes et impartiales, de se rendre compte convenablement des causes des explosions.

13. Par suite, la commission est d'avis :

(*a*) Que les règlements disent d'une manière explicite que celui qui fait usage de chaudières est responsable de l'état de ses chaudières et machines et des hommes qu'il emploie pour les faire marcher;

(*b*) Que, dans le cas d'une explosion, c'est le propriétaire qui doit être poursuivi.

(*c*) Que, pour exercer cette poursuite, il suffira de montrer que la chaudière était, au moment de l'explosion, sous la direction du propriétaire (ou du locataire, substitué au propriétaire) ou de son employé; et que cette poursuite ne pourra être suspendue que s'il est prouvé que l'accident a été produit par une cause en dehors du contrôle dudit propriétaire ou locataire; et qu'on n'admettra pas comme défense, dans une action de l'employé contre ledit propriétaire ou locataire, son patron, que le dommage a été causé par la négligence d'un coemployé;

14. Que, toutes les fois qu'une explosion de chaudière se produit, entraînant ou non mort d'homme ou blessures, celui qui l'employait devra le déclarer au *coroner* du district; et celui-ci, sur cette déclaration, ou sur la connaissance du fait qui lui parviendrait indirectement, en cas de non-déclaration, fera une enquête, et en référera au *Board of Trade*, qui désignera un de ses inspecteurs de chaudières ou toute autre personne compétente, pour assister le *coroner* dans l'enquête;

15. Que le *coroner* devra transmettre le résultat de l'enquête au secrétaire d'État au département de l'intérieur, et que ces rapports devront être présentés chaque année au Parlement.

20 juin 1871.

TABLEAUX STATISTIQUES.

I. — Tableau des explosions de chaudières, par périodes de dix années, et natures de chaudières (fourni par la Compagnie d'inspection et d'assurances des chaudières à vapeur du Midland).

NATURE de chaudière.	1800 à 1809	1810 à 1819	1820 à 1829	1830 à 1839	1840 à 1849	1850 à 1859	1860 à 1869	1870 1er janv. au 30 juin.	TOTAUX.
A. Indéterminée.	1	1	6	20	48	80	51	—	207
B. Chaudières marines.	—	5	1	8	10	17	28	1	70
C. de Cornouailles ou de Lancashire.	—	—	4	6	9	30	158	12	219
D. de locomotive. . . .	—	1	1	3	10	43	43	—	101
E. Cylindriques simples	—	2	—	1	10	36	116	7	172
F. Ballon.	—	—	—	1	1	16	12	1	31
F. Tombeau.	—	2	—	2	11	7	1	1	24
F. *Butterley*.	—	—	—	—	2	1	3	—	6
F. Tube anglais.	—	—	—	—	—	—	4	—	4
F. à bouilleurs.	—	—	—	—	—	—	3	—	3
F. Trevethick.	1	—	1	—	—	—	—	—	2
G. Agricoles.	—	—	—	—	—	8	22	1	31
G. Verticales (petites). .	—	—	—	—	—	—	3	—	3
G. de grue.	—	—	—	1	1	—	8	2	12
H. de cuisine.	—	—	—	—	—	5	14	4	23
H. à chiffons.	—	1	—	—	1	—	7	1	10
I. à chaleur perdue, verticales.	—	—	—	—	1	5	10	2	18
Totaux.	2	12	13	42	104	248	483	32	936
Nombre de morts. . . .	3	52	28	77	209	486	710	50	1.615
— de blessés. . .	5	36	21	118	338	588	926	65	2.097

II. — **Tableau des explosions de chaudières, par périodes de dix années et par causes** (fourni par la Compagnie d'inspection et d'assurances de chaudières à vapeur du Midland).

CAUSES.	1800 à 1809	1810 à 1819	1820 à 1829	1830 à 1839	1840 à 1849	1850 à 1859	1860 à 1869	1870 1er janv. au 30 juin.	TOTAUX.
Incertaines.	—	11	8	23	40	100	76	1	259
1° *Défauts de construction :*									
Mauvaise forme. . . . . Foyers intérieurs trop faibles. . . . . Mauvaises armatures. . Faiblesse (pour la pression voulue). . . . . . Mauvais accessoires, . . Défauts de réparation. .	1	—	3	6	20	41	125	4	200
2° *Défauts survenant pendant l'usage :*									
Chaudières vieilles et usées. . . . . Corrodées. . . . . Tôles altérées. . . . . . Rivures altérées.	—	—	—	2	5	24	136	13	180
3° *Manque de soins :*									
Excès de pression. . . . Soupapes dérangées. . . Desseins criminels. . . . Inattention. . . . . Soupapes calées. . . . . Abaissement du niveau d'eau. . . . . Dépôts épais. . . . . . . Eau boueuse	1	1	2	10	39	81	142	13	289
Autres causes.	—	—	—	1	—	2	4	1	8
Totaux.	2	12	13	42	104	248	483	32	936

III. — Tableau des explosions du 1er janvier au 28 juin 1870 (fourni par M. Fletcher).

DATES.	NATURE DE CHAUDIÈRE.	MORTS.	BLESSÉS
11 janvier. .	Chaudière de Cornouailles.	3	1
15 —	— cylindrique à fonds hémisphériques.	1	4
4 février. .	— de Cornouailles.	1	»
8 —	— à bouillir, chauffée par la vapeur (*Kier*).	2	6
14 — . .	— calorifère à circulation, foyer extérieur.	2	1
27 mars. . .	— Pas de détails.	»	1
27 — . .	— marine, foyer intérieur.	»	»
29 — . .	— de Cornouailles.	3	4
13 avril. . .	— de Lancashire.	6	3
18 — . . .	— cylindrique à fonds hémisphériques. .	»	»
18 — . . .	— de Cornouailles.	1	1
12 mai. . .	— cylindrique à fonds hémisphériques. .	2	»
18 — . . .	— de Cornouailles	4	5
26 — . . .	— verticale à chaleur perdue de fours à puddler (*Rastrick*).	13	5
27 — . . .	— verticale locomobile (foyer intérieur).	2	»
28 — . . .	— Pas de détails.	»	»
2 juin . . .	— de Cornouailles	2	1
6 — . . .	— d°	»	»
9 — . . .	— de Lancashire	»	1
17 — . . .	— double foyers *Waist* (foyers intérieurs).	2	1
TOTAUX. . .	20 explosions.	44	34

IV. — Nombre de personnes tuées et blessées par les explosions de chaudières pendant les années 1865-69 (fourni par M. Fletcher).

ANNÉES.	NOMBRE D'EXPLOSIONS.	NOMBRE DE TUÉS.	NOMBRE DE BLESSÉS.
1865	48	46	79
1866	72	87	109
1867	36	60	67
1868	45	57	60
1869	58	86	126
5 années	259	336	441

NOTA. — On n'a compté comme *blessés* que les personnes sérieusement atteintes.

V. — **Nombre de voyageurs tués et blessés sur les chemins de fer pendant la même période.**

ANNÉES.	NOMBRE D'ACCIDENTS.	NOMBRE DE TUÉS.	NOMBRE DE BLESSÉS.
1865	92	22	1034
1866	69	15	540
1867	95	19	689
1868	87	40	519
1869	98	16	688
5 années.	441	112	3470

NOTA. — Les cas d'imprudence personnelle ne sont pas compris. Toutes les blessures, même les plus légères, sont comptées dans la dernière colonne.

On comprend peu l'utilité de la comparaison des tableaux IV et V. Il aurait fallu comprendre dans le tableau V les cas, bien plus nombreux, de blessures et de morts d'agents des chemins de fer.

ADDITION. — **Lettre de M. Hugh Mason.**

M. Hugh Mason, actuellement président de la *Manchester steam users' association*, vient d'adresser aux journaux (le 9 avril 1877), une lettre relative à la question des explosions.

Il expose que, depuis l'enquête parlementaire, aucune mesure n'a été prise; que cependant, depuis cette époque, 391 personnes ont été tuées et 713 blessées par les explosions, la moyenne annuelle des victimes étant, pendant les années 1866-75, de 64 morts et 101 blessés. En 1876, il y a eu 88 tués et 103 blessés. Il faudrait, d'après lui, étendre aux chaudières fixes les dispositions du *Merchant shipping Act* qui prescrivent une enquête sérieuse en cas d'explosion de chaudière de bateau.

D'autre part, l'efficacité d'une inspection convenablement faite est prouvée par les faits suivants : de 1865 à 1876 (inclus), l'association de Manchester a surveillé, en nombre rond, 25.000 chaudières; et, à l'exception d'une seule explosion sans gravité, aucun accident n'est survenu, tandis qu'en dehors de l'association 609 explosions ont tué 772 personnes et en ont blessé 1196. Le gouvernement devrait donc faire inspecter toutes les chaudières.

LE CHAUFFAGE DES VOITURES DE TOUTES CLASSES SUR LES CHEMINS DE FER.

(Extrait d'un Rapport (*) présenté au Conseil d'administration de la **COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'EST**, par M. L. REGRAY, ingénieur en chef du matériel et de la traction.

NOTE

Par M. F. CLÉRAULT, ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

Depuis quelques années, l'opinion publique en France a paru se préoccuper de la question du chauffage des voitures à voyageurs de toutes classes sur les chemins de fer. On savait qu'à l'étranger les procédés employés étaient variés et les appréciations sur ces procédés aussi diverses que les moyens mis en œuvre.

En février 1873, le conseil d'administration de la compagnie de l'Est ouvrit un crédit spécial pour l'étude de la question et confia à M. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction, la direction du travail. Après d'intéressantes recherches à l'étranger, des expériences et des

(*) *Le Chauffage des voitures de toutes classes sur les chemins de fer*, par L. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la compagnie du chemin de fer de l'Est. Dunod et Dupont, éditeurs, à Paris, 1876.

essais nombreux, M. Regray a rédigé un rapport (*) qui comprend :

1° La description détaillée de tous les procédés employés pour le chauffage des voitures sur les principaux chemins de fer de l'Europe ;

2° La relation des expériences poursuivies sur le réseau de l'Est pendant les hivers 1873-1874 et 1874-1875 ;

3° Enfin un résumé général et des conclusions.

Ce rapport, accompagné de planches détaillées, a été publié par les soins de la compagnie. Il a paru intéressant d'en présenter un résumé aux lecteurs des *Annales des mines*. (Voir croquis, Pl. I, Pl. II et Pl. III, et légende explicative, p. 180 et suivantes).

(*) MM. Salomon et Flaman, ingénieurs de la compagnie de l'Est, ont été les principaux collaborateurs de M. Regray, pour l'exécution de ce travail.

ÉTUDE DES MODES DE CHAUFFAGE EMPLOYÉS SUR LES CHEMINS DE FER ÉTRANGERS.

A première vue, les procédés employés à l'étranger pour le chauffage des wagons paraissent être variés à l'infini, mais ceux qui ont été essayés sur une grande échelle ou adoptés peuvent se rapporter à des types dont le nombre est restreint. Il paraît tout d'abord utile de se rendre compte de cette répartition, et le tableau ci-dessous en résume l'état actuel sur les principales lignes de l'Europe. Les développements qui suivent le tableau permettent d'étudier, dans chaque État, les procédés mis en œuvre.

Tableau synoptique résumant l'état actuel des solutions essayées ou adoptées par les divers chemins de fer de l'Europe pour le chauffage des voitures (avril 1876).

MODE DE CHAUFFAGE.			POÊLES montés dans les voitures.	APPAREILS à air chaud.	APPAREILS à combustibles agglomérés.	CHAUFFAGE à la vapeur.	CHAUFFAGE au gaz.	CIRCULATION d'eau chaude dans des appareils fixes (thermo-siphons).	CHAUFFERETTES mobiles à eau chaude (bouillottes).
ALLEMAGNE	BERLIN-ANHALT.	377 kilomètres. 347 voitures.	4e classe pour tous les trains.		1re, 2e et 3e classe pour tous les trains.				
	BERLIN-POSTDAM-MAGDEBOURG.	268 kilomètres. 304 voitures.			Voitures des quatre classes pour tous les trains.				
	BERG-MARCHE.	1.169 kilomètres. 629 voitures.	1re et 4e classe dans tous les trains.		1re et 2e classe dans tous les trains.				
	SARREBRUCK.	145 kilomètres. 188 voitures.	4e classe dans tous les trains, voitures-salons (poêles alimentés au charbon de bois).		1re, 2e et 3e classe dans tous les trains.				
	RHEIN NAHE.	[illegible] kilomètres, 47 voitures			1re, 2e et 3e classe dans tous les trains.				

ALLEMAGNE (*suite*).

WESTPHALIE.	396 kilomètres. 180 voitures.	Partie des 3e et toutes les 4e cl. dans tous les trains.		1re, 2e et partie des 3e classes dans tous les trains.				
HANOVRE.	839 kilomètres. 773 voitures.	3e et 4e classe dans tous les trains.		1re, 2e et quelques 3e classes dans tous les trains.	Essais faits en 1868 sur deux trains-poste.			
ALSACE-LORRAINE.	1.035 kilomètres. 776 voitures.			1re, 2e et 3e cl. dans tous les trains.	Essais doivent être entrepris.			
NASSAU.	257 kilomètres. 341 voitures.	3e et 4e classe dans tous les trains.		1re et 2e classe dans tous les trains.				
MAIN, WESER.	198 kilomètres. 181 voitures.	3e et 4e classe dans tous les trains.		1re et 2e classe dans tous les trains.				
COLOGNE, MINDEN.	1.066 kilomètres. 418 voitures.	1re et 2e classe dans tous les trains 3e classe dans les trains express.						
EST BAVAROIS.	772 kilomètres. 446 voitures.				Voitures de toutes classes dans tous les trains.			

Suite du tableau précédent.

MODE DE CHAUFFAGE.		POÊLES montés dans les voitures.	APPAREILS à air chaud.	APPAREILS à combustibles agglomérés.	CHAUFFAGE à la vapeur.	CHAUFFAGE au gaz.	CIRCULATION d'eau chaude dans des appareils fixes (thermo-siphons).	CHAUFFERETTES mobiles à eau chaude (bouillottes).
ALLEMAGNE (*suite*). ÉTAT BAVAROIS.	2.487 kilomètres. 1.376 voitures.				Voitures de toutes classes dans tous les trains.			
EST DE PRUSSE.	1.490 kilomètres. 668 voitures.	Voitures des 4 cl. des trains de banlieue et des lignes d'embranchement.			Voitures des 4 cl. dans les trains des lignes principales.			
RHÉNAN.	1.030 kilomètres. 671 voitures.	Wagons-poste, fourgons et voitures de service.	Essai de l'appareil Kienast en 1874-75, de l'appareil Thamm et Rothmüller en 1874-75.	Partie des voitures de 1re et 2e classe.	Voitures de 1re et 2e classe du service direct de Cologne à Vienne.		Appareil à circulation d'eau monté sur une voiture-salon.	Partie des voitures de 1re et 2e classe.
GRAND-DUCHÉ DE BADE.	1.146 kilomètres. 996 voitures.	Emploi encore général dans les 3e classes.	Essai de l'appareil Kienast, de l'appar. Thamm et Rothmüller,	Essai sur 19 voitures de 1re et 2e classe.	55 voitures de 1re, 2e et 3e classe dans les trains express de nuit.			Emploi encore général dans les voitures de 1re et 2e classe.
WURTEMBERG.	1.360 kilomètres. 677 voitures.	Voitures de toutes classes du type américain dans tous les trains.	Essai de deux appareils Thamm et Rothmüller en 1874-75.		Voitures de toutes classes à compartiments et dans tous les trains.			

ALLEMAGNE (*suite*).	BRUNSWICK.	332 kilomètres. 226 voitures.			Partie des voitures de 1re et 2e classe.	Essai.		Emploi de l'appareil à eau chaude (haute pression Perkins).	Voitures de 1re et 2e classe non pourvues d'appareils à combustibles agglomérés.
	ÉTAT SAXON.	998 kilomètres. 968 voitures.			Application restreinte à un petit nombre de voitures.	Essai sur quelques trains.			Emploi encore général pour les voitures de 1re et 2e classe.
	BERLIN-HAMBOURG.	446 kilomètres. 361 voitures.			Toutes les classes de voitures dans les trains omnibus.	Voitures de toutes classes des trains express et poste.			
	HAUTE SILÉSIE.	1.437 kilomètres. 584 voitures.	Quelques voitures de 3e et 4e classe.	Quelques voitures de toutes classes.	Pour un certain nombre de voitures de toutes classes.	Voitures des trains express et poste.			Voitures de 1re et 2e classe non pourvues d'appareils de chauffage.
AUTRICHE.	SUD DE L'AUTRICHE	2.320 kilomètres. 1.207 voitures.	Toutes les voitures des 3e et 4e classes, poêles Mauch et Brock ou Blazicek.	Essai do l'appareil Thamm et Rothmüller sur des voitures de 1re classe.					Emploi encore général pour les voitures de 1re et 2e classe.
	ÉTAT AUTRICHIEN.	1.684 kilomètres. 810 voitures.	Toutes les voitures de 3e classe, poêles Mauch et Brock.	Essai.					Emploi encore général pour les voitures de 1re et 2e classe.

Suite du tableau précédent.

MODE DE CHAUFFAGE.		POÊLES montés dans les voitures.	APPAREILS à air chaud.	APPAREILS à combustibles agglomérés.	CHAUFFAGE à la vapeur.	CHAUFFAGE au gaz.	CIRCULATION d'eau chaude dans des appareils fixes (thermo-siphons).	CHAUFFERETTES mobiles à eau chaude (bouillottes).
AUTRICHE (suite). CHARLES-LOUIS DE GALICIE.	592 kilomètres. 286 voitures.		Application, sur 2 voitures-salons, de l'appareil Thamm et Rothmüller.		Voitures de toutes classes.			
EMPEREUR FERDINAND DU NORD.	770 kilomètres. 682 voitures.		Voitures de toutes classes, appareil Thamm et Rothmüller.		Train express de Vienne à Cracovie.			
NORD-OUEST DE L'AUTRICHE.	1.020 kilomètres. 308 voitures.	Voitures-salons et 3e classe, voitures à lits (poêles montés sous les voitures).						Voitures de 1re et 2e classe.
EMPEREUR FRANÇOIS-JOSEPH.	714 kilomètres. 480 voitures.	Voitures de 3e cl.						Voitures de 1re et 2e classe.
OUEST IMPÉRATRICE ÉLISABETH.	680 kilomètres. 280 voitures.	Voitures de 3e cl.	Appareil Thamm et Rothmüller sur partie des voitures de 1re, mixtes et de 3e classe.					Voitures de 1re et 2e classe.

AUTRICHE (*suite*).

VARSOVIE-VIENNE-BROMBERG.	486 kilomètres. 223 voitures.	Voitures-salons.	Appareil Thamm et Rothmüller sur 8 voitures, application en 1874.	Essai sur 25 voitures en 1871.	Essai sur 43 voitures des 4 cl.			Emploi encore général pour les voitures de 1re et 2e classe.
PRINCE ROYAL RODOLPHE.	631 kilomètres. 229 voitures.	Voitures de 3e et 4e classe.	Appareil Thamm et Rothmüller sur partie des voitures de 1re et 2e classe.					Voitures de 1re et 2e classe.
JONCTION DU SUD AU NORD DE L'ALLEMAGNE.	223 kilomètres. 101 voitures.	Quelques voitures de 2e, 3e et 4e classe.		Voitures de 1re et 2e classe.				
ÉTAT DE HONGRIE.	1.089 kilomètres. 420 voitures.	Voitures de toutes classes (poêles montés sous les voitures).						
EST DE HONGRIE.	615 kilomètres. 111 voitures.	Voitures de 4e cl.						Voitures de 1re et 2e classe.
OUEST DE HONGRIE.	376 kilomètres. 82 voitures.							Voitures de 1re et 2e classe.

Suite du tableau précédent.

MODE DE CHAUFFAGE.			POÊLES montés dans les voitures.	APPAREILS à air chaud.	APPAREILS à combustibles agglomérés.	CHAUFFAGE à la vapeur.	CHAUFFAGE au gaz.	CIRCULATION d'eau chaude dans des appareils fixes (thermo-siphons).	CHAUFFERETTES mobiles à eau chaude (bouillottes).
AUTRICHE (s.)	CHEMIN DE FER DE LA THEISS.	578 kilomètres. 245 voitures.	Voitures de 3ᵉ cl.						Voitures de 1ʳᵉ et 2ᵉ classe.
RUSSIE.	CHEMIN DE FER NICOLAS.		1ʳᵉ, 2ᵉ et 3ᵉ cl., Voitures-salons, bureaux-poste et fourgons.			Voitures-salons et voitures-lits.			
RUSSIE.	KURSK, CHARKOWAZOW LOSOWO-SÉBASTOPOLT SUD DE CONSTANTI-NOW MITTAU.		Voitures de toutes classes.						
SUÈDE.	ÉTAT SUÉDOIS.					Voitures des 3 classes.			
NORVÈGE.	CHEMIN NORVÉGIEN.	500 kilomètres.			Voitures de 1ʳᵉ et 2ᵉ classe sur lignes à voie normale.				Voitures de 1ʳᵉ classe des lignes à voie étroite.

SUISSE.	CENTRAL SUISSE.	257 kilomètres. 178 voitures.	Toutes les voitures de 2e et 3e classe, poêle Meidinger.	Application sur 12 voitures de 1re et 2e classe.					Emploi général pour les voitures de 1re classe.
	UNION SUISSE.	275 kilomètres. 154 voitures.	Application encore générale à toutes les classes des voitures, poêles Meidinger de la compagnie Ledru, de Genève.	Appareils étudiés par la compagnie et montés sur 10 voitures, appareil du type Thamm et Rothmüller appliqué sur 12 grandes voitures.					
	NORD-EST SUISSE.	330 kilomètres. 331 voitures.	Application sur 137 voitures de toutes classes.	Appareil étudié par la compagnie appliqué à 312 voitures de toutes classes.					
BELGIQUE.	ÉTAT BELGE.	2.024 kilomètres. 3.044 voitures.	.	Essai de l'appareil Kienast.	Essai de l'appareil Grandjean sur une 1re cl., de l'appareil Berghausen sur 4 voitures 2e cl. et 4 voitures 3e classe.		Essai de l'appareil Chaumont.	Actuellement à l'essai.	Application générale aux voitures de 1re cl.
HOLLANDE.	ÉTAT NÉERLANDAIS.	990 kilomètres. 434 voitures.	.		Essai sur 7 voitures des appareils Grandjean et Berghausen. Essai sur 23 voitures d'un appareil construit par la compagnie.				Emploi général sur les voitures de 1re et 2e cl.

Suite du tableau précédent.

MODE DE CHAUFFAGE.			POÊLES montés dans les voitures.	APPAREILS à air chaud.	APPAREILS à combustibles agglomérés.	CHAUFFAGE à la vapeur.	CHAUFFAGE au gaz	CIRCULATION d'eau chaude dans des appareils fixes (thermo-siphons).	CHAUFFERETTES mobiles à eau chaude (bouillottes).
ANGLETERRE.	LONDON AND NORTH WESTERN 2.425 kilomètres. GREAT WESTERN 2.232 kilom. NORTH EASTERN 2.061 kilom. MIDLAND 1.564 k. GR. EAST. 1.307 k.				Essai de l'appareil Kiesling.				1re classe sur toutes les lignes, 2e et 3e cl. sur quelques-unes.
ITALIE.	HAUTE ITALIE.	8.344 kilomètres. 2.187 voitures.							1re classe.
FRANCE.	SIX GRANDES COMPAGNIES FRANÇAISES.	17 810 kilomètres. 13.870 voitures.	Expériences de la compagnie de l'Est, trains d'essai.	Expériences de la compagnie de l'Est, trains d'essai.	Expériences de la compagnie de l'Est, trains d'essai.	Expériences de la compagnie de l'Est, trains d'essai.		Expériences de la compagnie de l'Est, trains d'essai.	1re classe.
	DOMBES.	300 kilomètres. 134 voitures.		Application décidée pour les voitures de 3e classe.					1re classe.
	CHARENTES.	[illegible] kilomètres. [illegible] voitures.				Application faite de 1873 à 1875 sur toutes les voitures de quelques trains.			1re classe.

ALLEMAGNE.

Les compagnies de chemins de fer de l'Allemagne emploient, pour le chauffage des voitures, des procédés très-divers : appareils à combustibles agglomérés, poêles, circulation de vapeur empruntée, soit à la locomotive, soit à un chaudière spéciale, circulation d'air chaud ou d'eau chaude, bouillottes mobiles, etc.; quelques-unes, enfin, mettent en œuvre plusieurs de ces procédés et même presque tous à la fois.

Appareils à combustibles agglomérés.

Disposition des appareils. — Les appareils consistent essentiellement en une caisse placée sous la banquette ; dans cette caisse s'engage un tiroir portant, soit directement les agglomérés, soit un panier en fil de fer qui les contient.

Le chargement se fait par l'extérieur. Le plancher et les banquettes sont garantis des rayonnements et des dangers d'incendie. Le courant d'air nécessaire à la combustion est assuré par différents procédés ; dans le type des chemins de fer de Berlin-Anhalt (*fig.* 1 et 2, Pl. I), l'air entre par des fentes du tube vertical débouchant sous la caisse et sort par les trous percés dans la porte et munis d'un registre régulateur ; dans le type des chemins de fer de Hanovre, l'air entre par le tube fixé près de la porte et sort par un tube horizontal et un chapeau dont la forme est telle que l'échappement a toujours lieu quelle que soit la direction du vent.

Chaque compartiment est en général chauffé par deux appareils semblables.

Les briquettes sont allumées avant d'être introduites ; les chalumeaux à gaz remplissent bien ce but.

Dépenses d'installation des appareils. — Les dépenses d'installation des appareils à agglomérés peuvent être évaluées en moyenne, par compartiment, à 150 francs pour la

1re et la 2e classe, 100 francs pour la 3e classe, 60 francs pour la 4e classe. Elles varient d'ailleurs du simple au double, suivant les dispositions.

Combustible. — Les combustibles agglomérés sont des briquettes composées de charbon de bois pulvérisé, de nitre et d'une matière agglutinante telle que la dextrine. A titre d'exemple, on peut citer les types suivants employés sur le chemin Berlin-Potsdam-Magdebourg :

Charbon de bois.	81,96	79,55	83,36	82,56
Cendres.	6,60	5,00	2,20	5,60
Eau.	7,20	7,45	6,85	6,20
Matière agglutinante. . . .	0,94	5,40	2,59	1,89
Nitrate de potasse.	3,30	2,60	5,00	3,75
	100,00	100,00	100,00	100,00

De semblables mélanges, séchés et comprimés, donnent des briquettes brûlant lentement dans un faible courant d'air. La combustion, mesurée sur des briquettes de $0{,}09 \times 0{,}06$ de section, peut être évaluée à 80 grammes par heure environ.

Le prix moyen est de 32 francs les 100 kilogrammes.

Résultats calorifiques. — Diverses expériences donnent une idée assez exacte de l'effet produit ; sur les chemins de fer royaux de Saarbruck, par exemple : « une seule briquette peut faire monter la température de 0° à 15° dans un espace de 2 mètres cubes ». En pratique, on règle le nombre de briquettes à charger par compartiment suivant la température extérieure comme suit :

1	briquette, si la	température extérieure est. .	+ 5°
2	—	—	0°
3	—	—	— 5°
4	—	—	—10°

Si donc on suppose la température = —5°, la consommation par compartiment sera par heure $0^k{,}255$, ce qui, au prix de $37^f{,}50$ les 100 kilogrammes, fait par compartiment une dépense de $0^f{,}0956$, non compris l'allumage qu'il faudrait compter en moyenne pour $0^f{,}0075$ par briquette.

Prix de revient du chauffage aux agglomérés. — Ce prix de revient peut s'établir par compartiment et par heure. Le tableau suivant indique les résultats obtenus par quelques compagnies allemandes.

CHEMINS DE FER.	DÉPENSE par heure et par compartiment.	
	francs.	
Berlin-Anhalt.	0,1181	
Berlin, Postdam-Magdebourg.	0,10	
Royaux de la Westphalie.	0,12	
Alsace-Lorraine.	0,164	Avec le combustible aggloméré.
	0,054	Avec le charbon de bois de hêtre (essai).
Nassau.	0,10	

Aux chemins de fer de Main-Weser, la dépense de combustible est, par compartiment, par heure et par degré d'élévation de température, de 0f,01328 (Congrès de Dusseldorf).

Poêles.

Disposition des appareils. — Quelques poêles au charbon de bois sont montés dans des voitures de luxe (chemins de fer royaux de Saarbruck); dans certaines voitures de 1re et de 2e classe (chemins de fer royaux de Wurtemberg), on brûle du bois.

Dans les voitures ordinaires, les poêles sont en général chauffés à la houille. On met un poêle par voiture : il est en fonte ou en fonte et tôle, en général chargé par le dehors, et la combustion y est réglée par les agents du train. La *fig.* 9 (Pl. I) représente le poêle des voitures de 3e classe des chemins de fer de l'État de Hanovre. Le poêle est rectangulaire; la fumée s'élève dans un des compartiments, puis redescend par l'autre pour s'échapper dans la cheminée.

Il faut employer des dispositions spéciales contre le rayonnement et les incendies.

Prix d'installation. — Le prix s'élève à 337f,50 pour le

type décrit ci-dessus. Au chemin de fer de Rhein-Weser, il est de 250 francs pour les voitures de 3e classe.

Prix du chauffage. — Le prix du combustible dépensé par voiture et par heure est estimé, aux chemins de fer :

De Berlin-Anhalt.	0,0417 à 0,052
De l'État de Hanovre.	environ 0,078

Au chemin de fer de Main-Weser, la dépense de houille par compartiment, par heure et par degré centigrade d'élévation de température est de 0f,00460 (Congrès de Dusseldorff).

Appareils de chauffage par la vapeur.

Disposition de l'appareil. — L'appareil consiste essentiellement en une conduite de distribution placée sous chaque voiture; chacun de ces tronçons est raccordé aux deux tronçons voisins par des tuyaux en toile caoutchouquée portant des soupapes de purge. Le dernier tronçon arrière se termine par un robinet à écoulement constant pour l'eau de condensation.

Sur la conduite générale se branchent les tuyaux de chauffe de chaque compartiment, passant en général sous les banquettes. Le réglage de la température se fait par la manœuvre d'un levier mis à la disposition des voyageurs. (La *fig.* 11, Pl. I, représente la disposition employée par l'État bavarois.)

La vapeur envoyée dans la conduite provient soit de la chaudière de la locomotive, soit d'une chaudière spéciale.

L'alimentation se fait par intermittence et sous une pression de 2 kilog. effectifs; cette pression est obtenue au moyen d'un régulateur automatique, lorsque la vapeur provient de la locomotive.

Dans le second cas, une chaudière spéciale est placée dans le fourgon de tête; aux chemins de fer bavarois, par exemple, les dimensions principales de la chaudière spéciale sont :

Surface de chauffe totale.	11^{mq},620
— de grille.	0^{mq},559
Volume d'eau.	275 lit.
Capacité totale.	330 lit.

Dépenses d'installation. — Au chemin de fer bavarois, les dépenses d'installation sont les suivantes :

	fr.
Appareil complet, installé sur une voiture mixte (1re et 2e cl.) à 4 compartiments.	790
Aménagement d'une locomotive et de son tender. 500 à	600
Chaudière spéciale, installation et accessoires.	2,120

Au chemin de fer Est-prussien, on compte :

	fr.
Installation des appareils à vapeur par voiture de 1re classe, à 4 compartiments.	750
Idem, par voiture de 4e classe, à 1 compartiment.	575

Résultats calorifiques. — Tant que le nombre de voitures ne dépasse pas 10 ou 15, suivant les dispositions, la température est sensiblement la même d'un bout à l'autre du train. On peut obtenir des écarts de température de 40° à 50° avec l'extérieur.

Prix du chauffage. — Les dépenses du chauffage s'estiment à 0^{f},20 par voiture et par heure, au chemin de fer de Berlin-Hambourg, et à 9 kilog. de houille par heure et par train aux chemins de l'État du grand-duché de Bade.

Aux chemins de fer de l'Est-prussien, le chauffage par chaudière spéciale, tout compris, s'évalue à 0^{f},2116 par voiture et par heure (houille comptée à 20 fr.).

Appareils à air chaud.

On a employé (ex. : chemins de fer de l'État du grand-duché de Bade) des appareils à air chaud Kiénast (voir ci-dessous) et des appareils Thamm et Rothmüller. (Voir *Autriche.*)

Appareils à eau chaude.

Un appareil à circulation d'eau chaude a été monté sur

un wagon-salon du chemin de fer rhénan. Un essai de chauffage par l'eau sous pression (système Perkins) a eu lieu sur les chemins de fer du Brunswick. Enfin ces dernières lignes emploient des bouillottes à eau chaude et ont tenté l'utilisation du sable chaud.

AUTRICHE.

Les chemins de fer de l'Autriche chauffent leurs voitures avec des poêles, des bouillottes mobiles, des appareils à air chaud, des appareils de circulation de vapeur, etc.

Poêles.

Disposition des appareils. — Les poêles employés sur les chemins de fer de l'Autriche brûlent de la houille (exceptionnellement, pour les voitures spéciales, on brûle des agglomérés). La Staats-bahn a monté 231 poêles, type Maüch et Brock, tandis que la Sud-bahn paraît décidée à employer à l'avenir ceux du type Blazicek qui sont à grilles cylindriques.

Dépenses d'installation. — Le prix de revient du poêle Maüch et Brock est de 117^f,50 (Staats-bahn).

Le prix de revient du poêle Blazicek, *tout installé*, est de 246 francs (Sud-bahn).

Conduite des appareils. — La Staats-bahn fournit les données suivantes : sur les charges correspondant à des parcours donnés. Le combustible est de la houille choisie en morceaux dont la grosseur varie entre celle du poing et celle d'une noix.

Durée du trajet,	15 à 20	heures.	Charge	13	kilog. de houille.
—	12 à 15	—	—	10	—
—	9 à 12	—	—	8	—
—	6 à 9	—	—	6	—
—	9 à 3	—	—	4	—
—	0 à 3	—	—	3	—

Un feu bien allumé s'éteint rarement.

Résultats calorifiques et consommation. — La Sud-bahn indique les résultats donnés par les poêles Maüch et Brock et les poêles Blazicek.

Résultats obtenus dans une voiture de 3e classe à 5 compartiments (longueur, 6,88; largeur, 2,42; hauteur, 1,94):

	POÊLES.	
	Maüch et Brock.	Blazicek.
Effet utile moyen	15°,432	17°,500
Différence entre la température de l'air aux filets et au niveau du plancher	12°,3	11°,7
Consommation par heure	0^k,992	0^k,825

Réponse à une objection. — Relativement aux dangers d'incendie souvent invoqués contre les poêles, la Staatsbahn, qui emploie le poêle Maüch et Brock, s'exprime ainsi: « Par suite de la solidité de la construction, de l'impos- « sibilité d'ouvrir le poêle sans une clef spéciale, et « même, lorsqu'il est ouvert, de retirer le charbon autre- « ment que par la porte placée au haut de l'appareil, on « n'a pas à craindre de cas d'incendie déterminés soit par « la malveillance ou la négligence, soit par des accidents « pouvant entraîner la destruction de la voiture.

« Ces poêles sont en service depuis trois ou quatre ans « et l'on n'a pas eu un seul incendie.

« Jusqu'à présent les 231 appareils montés dans des « voitures n'ont donné lieu à aucune réclamation. »

Appareil à air chaud Thamm et Rothmüller.

En principe ce système consiste à chauffer, au moyen d'un foyer placé sous le véhicule, l'air pris, partie dans l'atmosphère, partie dans la voiture.

Disposition de l'appareil. — L'appareil employé à titre d'essai sur une voiture de 1re classe de la Sud-bahn se compose d'un foyer cylindrique horizontal en tôle commu-

niquant avec un cendrier dont les faces verticales sont à jour, pour l'introduction de l'air pendant la marche. L'air à chauffer est puisé, partie dans l'atmosphère par de doubles manches à vent, partie dans la voiture par des orifices placés sous les banquettes extrêmes; il y a donc ventilation par l'appareil. L'air chaud pénètre dans la voiture par des ouvertures ménagées dans le plancher du compartiment central. (Voir *fig.* 4, Pl. I.)

Combustible. — On emploie un mélange de coke et de charbon de bois bien secs; par les grands froids on ajoute $\frac{1}{10}$ de briquettes de charbon de bois. Une charge de 11 kilog. dure 8 heures en moyenne et quelquefois 10 à 12 heures.

Prix d'établissement. — La construction et l'établissement d'un appareil coûte 810 francs par voiture (Sud-bahn).

Résultats calorifiques. — Les résultats peuvent se résumer comme suit :

Température extérieure.	0°
Effet utile moyen.	13°,22
Différence de température entre les filets et le plancher.	1°,3

Les thermomètres supérieurs paraissent avoir été placés dans le courant d'air chaud des ventilateurs, et les thermomètres inférieurs très-près des bouches de chaleur.

Consommation. — On a consommé 1k,860 de combustible par appareil et par heure de marche.

Chauffage à la vapeur.

Le chemin de fer de Varsovie-Vienne a essayé le chauffage par la vapeur prise à la locomotive et employée à la pression de 2 atmosphères effectives. L'appareil était analogue à ceux qui sont employés en Allemagne. Il chauffait facilement 10 voitures à 5 compartiments.

Sur le chemin de fer de Galicie, on chauffe les trains express avec la vapeur provenant de la locomotive et les trains omnibus et poste avec la vapeur produite par une

chaudière spéciale; dans ce dernier cas, pour le chauffage de 20 voitures on brûle 310 kilog. par 24 heures, et le prix des appareils est de 1.300 francs par voiture de 1re et 2e classe et 750 francs par voiture de 3e classe.

Divers. — Enfin l'Autriche a employé des appareils à combustibles agglomérés et des bouillottes d'eau chaude.

RUSSIE.

Les chemins russes emploient simultanément des poêles et la vapeur pour le chauffage. Les voitures sont de types divers, américains ou anglais.

Poêles.

Les poêles du chemin de fer Nicolas sont en fonte; on y brûle du bois ou du charbon de bois. L'air se chauffe entre la fonte et une enveloppe extérieure en tôle (voir *fig.* 10, Pl. I) qui recouvre tout le poêle et la partie de sa cheminée qui est à l'intérieur de la voiture. Trois types sont employés aux chemins de fer Nicolas.

	mèt.		kil.
Diamètre extérieur,	0,372	Poids avec accessoires.	270
—	0,400	—	295
—	0,450	—	327

Les frais de construction et d'installation sont les suivants:

	fr.
Poêle des voitures-salons	759,80
— 1re classe et bureaux-poste	544,40
— 2e et 3e classe	296,40
— fourgons à bagages	185,60

Le nombre de poêles montés dans chaque véhicule varie avec le type de ce dernier et suivant que la voiture est d'ailleurs chauffée ou non par la vapeur.

On peut ainsi obtenir dans les voitures une température de 17°,5.

Au chemin de fer du Sud de Constantin, on emploie des poêles se chargeant au-dessus du toit de la voiture.

Les avantages qui résultent de l'emploi de semblables poêles sont principalement l'économie d'installation, de consommation et de main-d'œuvre. Comme inconvénients, on remarque que ces appareils ne produisent pas de ventilation, que des gaz délétères s'échappent du foyer, enfin que la chaleur ne se répartit pas uniformément dans la voiture. La question de danger est mise en évidence par l'accident du 24 décembre 1875. Sur la ligne d'Odessa, *un train contenant 420 conscrits dérailla et fut précipité du haut d'un remblai de 32 mètres de hauteur; les voitures furent incendiées par les poêles, 67 conscrits brûlés et 40 autres retirés des flammes avec des brûlures plus ou moins graves.*

Chauffage à la vapeur.

Le système employé est celui du baron de Derschau. Une petite chaudière tubulaire verticale, placée à l'arrière si le train est court, au milieu s'il est long, produit la vapeur à 6 atmosphères. Un régulateur abaisse la pression à 3 atmosphères au plus; la vapeur passe dans la conduite générale, puis dans des tuyaux de chauffe de $0^m,065$ de diamètre disposés le long des parois longitudinales. (On a établi des soupapes, robinets de purge, etc.) La vapeur est lancée par intermittence.

Les appareils permettent d'obtenir une température constante de 12° par un froid de 32°.

Le prix d'installation peut s'évaluer au moyen des chiffres suivants :

La compagnie Moscou-Kursk a payé 496.000 francs pour 314 voitures aménagées et 36 chaudières.

La grande société Nicolas a payé 1.920 francs par voiture aménagée et 5.560 francs par chaudière avec injecteur et réservoir d'eau de 2 mètres cubes.

On consomme par heure et par voiture 18 kilog. de vapeur, soit 3 kilog. à 3k,24 de houille.

Avantages et inconvénients. — Les principaux avantages sont : bonne répartition de la température, facilité du réglage, aucune réduction de places, absence de fumée et d'incendie.

Les principaux inconvénients sont : élévation des frais d'installation, nécessité de wagons spéciaux et réservoirs pour les chaudières, dépense élevée de la main-d'œuvre de conduite de ces chaudières spéciales, difficulté dans la formation des trains.

SUÈDE ET NORWÉGE.

Les chemins de fer de l'État suédois ont abandonné les boîtes de sable chaud introduites sous les siéges et ont monté des appareils à vapeur semblables à ceux des chemins de fer de l'État bavarois (Voir ci-dessus.) Dans les trains mixtes, la vapeur est fournie par une chaudière spéciale, dans les trains express par la locomotive. La gelée a interrompu souvent le service de ces appareils qu'on espère pouvoir approprier aux conditions climatériques du pays par quelques modifications.

Les chemins de fer norwégiens sont, les uns à la voie normale, les autres à la voie étroite.

Les lignes à voie normale ont leurs voitures de 1re classe et de 2e classe chauffées par des appareils à combustibles agglomérés semblables à ceux du Berlin-Postdam-Magdebourg, mais avec caisse en cuivre rouge. Les briquettes agglomérées pèsent 0,875, leur combustion dure 6 heures, leur prix est de 380 francs les 1.000 kilog.

Deux briquettes élèvent la température d'un compartiment à 15° ou 20°, température supérieure à celle qui convient dans des climats aussi rigoureux. Les frais d'aménament sont de 460 francs par compartiment.

Les lignes à voie étroite n'ont que deux classes de voitures : les voitures de 1re classe sont chauffées à l'aide de bouillottes d'eau chaude; pour une ligne spéciale qui traverse un pays où la température descend jusqu'à 40° en hiver, on a l'intention d'employer des appareils à agglomérés pour les 1res et des poêles pour les 2es classes.

SUISSE.

Les chemins de fer suisses emploient ou ont essayé principalement des poêles et des appareils à air chaud.

Poêles.

Les poêles sont en général alimentés au coke, d'autres au bois. Leur prix varie, suivant le type, de 90 à 120 fr., leur installation coûte 10 à 12 fr. Dans une voiture du type américain, de 12 mètres de longueur, 2m,80 de largeur, 2m,160 de hauteur, on peut obtenir, avec le poêle au coke, 22° dans le voisinage de l'appareil (placé au milieu de la voiture) et 16° près des portes d'entrée, la température extérieure étant — 7° (Central suisse).

Appareils à air chaud.

Les appareils à air chaud sont ou des imitations des appareils Thamm et Rothmüller ou des appareils spéciaux à chaque compagnie. Il convient de citer celui de M. Maëy (Nord-Est de la Suisse).

Disposition employée. — Après plusieurs modifications, M. Maëy est arrivé à l'appareil actuel, *déjà monté sur 312 voitures*. Le foyer est installé sous la voiture avec une trémie circulaire limitant la hauteur du feu. L'air chaud d'une première enveloppe est distribué dans les voitures par deux conduits méplats logés entre les deux planchers, se bifurquant à leur extrémité et terminés par des bouches de chaleur. (Voir *fig.* 5, Pl. I.) Une seconde couche d'air empêche la déperdition de la chaleur et chauffe le couloir

des portes d'entrée et les deux banquettes placées au-dessus du foyer; l'entrée de l'air est placée à la hauteur du foyer pour n'être pas obstruée par la neige.

Résultats calorifiques. — Une heure un quart après l'allumage on observe :

A $1^m,50$ au-dessus du plancher (température extér. — $10°$).	au milieu de la voiture.	15°
	aux extrémités, près des portes.	11°

Prix et consommation. — L'installation coûte 480 francs par grande voiture (dimensions des voitures : longueur, $7^m,25$; largeur, $2^m,85$; hauteur, 2 mètres).

On dépense 2 kilog., soit $0^f,08$ de coke par grande voiture et par heure. Les intervalles de chargement ne doivent pas dépasser 1 heure et demie, si l'on tient à un chauffage régulier.

Résumé. — En résumé, ces appareils semblent devoir remplacer complétement les poêles, « quoiqu'ils aient, « comme ceux-ci, l'inconvénient de produire une chaleur « incommodante quand les foyers ne sont pas bien réglés ».

BELGIQUE.

Les chemins de fer de l'État belge ont mis à l'essai divers systèmes. Actuellement les voitures de 1re classe sont seules chauffées par des chaufferettes ordinaires à eau chaude. « Aucun système n'a été trouvé jusqu'à ce jour « assez complet, assez pratique pour s'imposer comme « application générale. »

Air chaud et agglomérés.

L'État belge a successivement essayé soit des appareils Grandjean, soit des appareils Grandvallet et Kiénast pour le chauffage par l'air chaud, soit enfin des appareils Berghausen et Philipps pour le chauffage au moyen d'agglomérés.

Chauffage par le gaz.

M. Chaumont a proposé l'emploi du gaz pour le chauffage des wagons, et l'État belge a essayé ce système.

Le gaz employé est obtenu par la distillation des brais et des huiles; il est comprimé à 8 atmosphères dans un réservoir du fourgon de tête; un régulateur réduit la pression à 0,020 d'eau; des tubes en fer, de 0,025 de diamètre, placés sous le pavillon, établissent une canalisation continue au moyen de raccordements en caoutchouc. Le fourgon de queue contient un réservoir-réserve pour les cas de coupure du train. Les becs de gaz destinés au chauffage sont disposés parallèlement à l'axe du compartiment, dans une boîte (chaufferette) dont la porte est munie d'un carreau, pour permettre de vérifier la combustion de l'extérieur de la voiture; la flamme du gaz s'engage dans un tube de cuivre rouge qui passe au niveau du plancher du compartiment d'un côté à l'autre pour dégager les gaz dans une petite cheminée. Deux becs symétriques par rapport à l'axe longitudinal de la voiture concourent à produire l'échauffement de la chaufferette. (Voir *fig.* 7 et 8, Pl. I.)

Prix d'installation. — Le prix d'installation est de 1.000 francs par voiture, lorsqu'il s'agit de voitures existantes; avec des voitures construites *ad hoc*, le prix serait beaucoup moindre.

Résultats calorifiques. — Vingt minutes après l'allumage, les tôles des chaufferettes avaient la température d'une bouillotte à l'eau chaude, qu'elles conservaient ensuite.

Prix et consommation. — Pour obtenir le résultat précédent, il fallait, par voiture de 4 compartiments, 8 becs brûlant en moyenne 40 litres chacun. La dépense de gaz par voiture serait, en comptant le gaz à $0^{f},65$ le mètre cube, $0^{f},208$.

M. Chaumont a imaginé une nouvelle disposition dans laquelle, outre diverses autres modifications, les cheminées

d'appel sont supprimées et les produits de la combustion rejetés dans l'atmosphère par de petits ajutages. M. Chaumont propose aussi de remplacer le gaz par le pétrole, ce qui évite la conduite générale du train; en comptant le pétrole à 73 francs les 100 kilog., la dépense serait par voiture de $0^f,2628$.

HOLLANDE.

Les chemins de fer de l'État néerlandais ont essayé l'air chaud et les agglomérés. Enfin ils viennent d'étudier un nouvel appareil à air chaud dont la disposition a pour but d'empêcher le tamisage des gaz du foyer.

ANGLETERRE.

L'Angleterre emploie universellement des bouillottes d'eau chaude dont, sur quelques lignes, on fait payer l'usage aux voyageurs au moyen d'une taxe spéciale.

On a essayé des appareils à agglomérés, système Kiesling, analogues à ceux du Hanovre.

COMPAGNIES SECONDAIRES DE FRANCE.

Deux compagnies secondaires, en France, ont cherché la solution du chauffage des trains en dehors du procédé généralement employé par les grandes compagnies, la bouillotte à eau chaude.

La compagnie des Dombes essaye, depuis l'année 1870, des appareils à air chaud.

Disposition des appareils. — Autour d'un foyer à double enveloppe, circule l'air pris dans l'atmosphère; cet air se réchauffe, passe soit sous les pieds des voyageurs, soit contre les parois du véhicule pour s'échapper par des bouches de chaleur (*fig.* 3, Pl. I).

L'appareil est placé dans un angle de la voiture dans laquelle il est à moitié engagé.

Le combustible employé est du charbon de Paris. La charge pèse environ 9k,500. Trois heures après avoir mis le premier foyer, on le remplace par un autre tout allumé.

Dépenses d'installation. — L'installation coûte 180 francs par voiture.

Résultats calorifiques. — Pendant la première période de combustion, on peut obtenir une différence de 30° entre la température de l'extérieur et celle de l'intérieur de la voiture.

En 1re classe, la température des chauffe-pieds s'élève jusqu'à 70°.

Prix et consommation. — La consommation s'élève à 2k,850 de charbon de Paris, ce qui, au prix de 160 francs la tonne, représente 0f,457 par voiture et par heure de marche.

La compagnie des Charentes a employé pendant plusieurs années un système de chauffage résumé dans le programme suivant, qui a servi de base aux études :

« 1° Employer comme système de chauffage des réser-
« voirs à eau chaude placés sous les pieds des voyageurs.

« 2° Rendre ces réservoirs fixes et les installer de telle
« façon que leur surface supérieure soit de niveau avec les
« planchers, pour qu'ils ne gênent en rien les voyageurs.
« En mettre dans les voitures de toutes classes et dans tous
« les compartiments.

« 3° Enfin réchauffer l'eau en temps voulu pour que sa
« température minima soit de 60°, et cela sans ouvrir les
« portières. »

C'est à l'emploi de la vapeur que l'on a eu recours pour réchauffer l'eau de la bouillotte.

Diverses dispositions ont été employées ; nous indiquerons la dernière.

Disposition des appareils. — Une conduite générale de

vapeur de $0^m,05$ de diamètre règne dans toute la longueur du train. Cette conduite principale communique avec un tube droit placé dans l'axe de chacune des chaufferettes encastrées dans le plancher des compartiments; ce tube, bouché à son extrémité, est percé de 150 trous dont le diamètre varie de $0^m,00025$ à $0^m,0005$. (Voir *fig.* 6, Pl. I.)

Chaque bouillotte est d'ailleurs en communication avec un vase d'expansion muni d'un tube de trop-plein.

Chauffage des bouillottes. — Le réchauffage des bouillottes s'est fait par injection de vapeur en général toutes les deux heures. L'injection dans la conduite générale avait lieu au moyen de diverses sources de vapeur ci-dessous indiquées.

1° *Machine du train.* — Ce procédé permet de chauffer soit en gare, soit en marche, mais il exige de l'attention de la part du mécanicien, sinon il injecte trop de vapeur.

2° *Machine de réserve.* — Ce procédé convient pour les trains mixtes, que la machine de réserve amenée auprès du train soit directement reliée à la conduite générale, ou qu'une conduite souterraine amène la vapeur de la remise où stationne la réserve jusqu'à la voie sur laquelle est garé le train.

3° *Chaudière spéciale.* — Ces chaudières sont mises en communication avec le train par des conduits souterrains.

Prix d'installation. — Les prix d'installation sont de :

fr.			
471,30	pour les voitures de	1re	classe.
540,45	—	2e	—
636,90	—	3e	—

A ces prix il faudrait ajouter la quote-part du prix de l'installation fixe, quand il y en a une.

Temps nécessaire au chauffage et au réchauffage. — 1° *Chauffage.* — Le temps nécessaire, lorsqu'on n'a pas à sa disposition de conduite souterraine, est, pour 5 voi-

tures, de 8 à 10 minutes; il faut donc compter 15 minutes, y compris la manœuvre de la machine de réserve.

Le temps nécessaire à Saintes, où il y avait une conduite de 60 mètres, était de 5 minutes pour le chauffage de la conduite et 10 minutes pour le chauffage des 3 voitures (pression de la chaudière, $7\frac{1}{2}$ à 8^k).

2° *Réchauffage.* — Le temps nécessaire au réchauffage d'un train de 3 à 4 voitures est de 6 à 8 minutes, la vapeur étant introduite pendant 2 minutes environ.

Résultats calorifiques. — Les expériences ont été faites avec des températures extérieures ne descendant jamais au-dessous de — 2°. On a observé :

Température aux filets, 10° à 15° au-dessus de la température extérieure.

Température de l'eau des chaufferettes, variant de 95° à 62°.

Consommation. — D'après M. de Plainemaison, ingénieur de la compagnie, le prix du chauffage d'une voiture s'établirait comme suit pour une durée de trajet de 10 heures:

Chauffage au départ.	24^k	de vapeur.
Pour 4 réchauffages, 4 × 11. . .	44^k	—
Total.	68^k	—

Soit $6^k,8$ de vapeur par heure. Si l'on suppose le chauffage fait avec des briquettes à $33^f,50$ la tonne vaporisant 8 kilog. d'eau par kilogramme, la dépense sera $0^f,0284$ par heure et par voiture.

Application. Abandon. — La compagnie a appliqué le système sur 34 voitures, mais M. Falquerolles, successeur de M. Plainemaison, n'a pas cru devoir continuer les essais, et la compagnie les a complétement abandonnés.

EXPÉRIENCES ET ESSAIS DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'EST PENDANT LES HIVERS DE 1874, 1875 ET 1876.

Expériences et essais sur le chauffage des voitures au moyen de poêles.

Disposition employée, — La compagnie a essayé un poêle dans une voiture de 3e classe dont les compartiments communiquaient entre eux au-dessus des appuie-tête.

Le poêle expérimenté est le poêle-calorifère au coke, type D, n° 5, de la compagnie Parisienne du gaz. Il est placé au milieu d'une des banquettes du compartiment central.

Cet appareil se compose d'un foyer hémisphérique à grille, d'un réservoir en cône renversé qui sert au chargement, d'une première enveloppe où circule la fumée, et d'une seconde où circule l'air chaud. La grille a une surface totale de $0^{mc},79$.

La *fig.* 1, Pl. II, indique la disposition de l'appareil.

Les *fig.* 7 et 8, Pl. II, montrent sa situation dans la voiture.

Résultats calorifiques. — Pendant l'essai, la température au pavillon était de 15° supérieure à la température de l'air à $0^{m},20$ du plancher; la température sur la banquette située en face du poêle a atteint 58° (voiture fermée), alors que la température sous les banquettes extrêmes était 13° et la température extérieure 8°.

Prix et consommation. — Le prix de l'appareil tout installé est environ 250 francs.

La consommation de combustible s'est élevée à $1^{k},10$ par heure de marche et à $0^{k},65$ par heure de stationnement, ce qui fait, en comptant le coke à 40 francs la tonne, $0^{f},044$ par heure de marche et $0^{f},026$ par heure de stationnement.

Conclusions. — Le rapport conclut : « Malgré les résultats « calorifiques élevés constatés dans nos essais, nous pen- « sons que l'on ne peut chauffer par des poêles les voitures « françaises de 3e classe.

« Nos expériences établissent en effet :

« Que ce mode de chauffage est malsain et, à la longue, « dangereux pour la santé publique, puisque la tête des « voyageurs se trouve exposée à une température beau- « coup plus élevée que la partie inférieure du corps ;

« Que le compartiment du milieu de la voiture ne peut « être occupé sans inconvénients graves, à cause des hautes « températures qui s'y produisent ;

« Enfin que les compartiments extrêmes sont peu ou « point chauffés.

« De plus, l'installation du poêle dans l'intérieur de la « voiture nécessite la suppression d'une stalle et réduit « ainsi le nombre des voyageurs transportés par véhicule.

« Quant à l'application d'un pareil système de chauffage « à chaque compartiment de 1re et de 2e classe, il n'y fal- « lait évidemment pas songer.

« Les expériences sur les poêles ont été de peu de durée. « les voyageurs ayant unanimement manifesté la plus vive « répugnance pour ce mode de chauffage, qu'ils cher- « chaient à combattre en ouvrant complétement toutes « les fenêtres. »

Expériences et essais sur le chauffage des voitures au moyen d'appareils à air chaud.

I. — Appareil Grandvalet et Kienast.

Disposition employée. — La compagnie a monté un appareil Kienast dans une voiture de 3e classe. L'appareil expérimenté est un calorifère à air chaud, à combustible spécial, placé sous le châssis et vers le milieu de la voiture.

Cet appareil se compose d'un foyer à tiroir pour combustible spécial, de trois serpentins en cuivre rouge qui entourent le foyer et de tuyaux de distribution d'air chaud partant des serpentins, courant sous le plancher et aboutissant à trois bouches de chaleur placées sous les banquettes.

Comme combustibles, on a essayé la *braise nitratée* et le *charbon nouveau.*

Résultats calorifiques. — La température moyenne de la voiture ne s'est élevée au-dessus de la température extérieure, avec la braise nitratée, que de 4° et, avec le charbon nouveau, que de 3°; la répartition était assez bonne.

Prix et consommation. — Le prix de revient de l'appareil tout installé est environ 800 francs.

Les consommations observées ont été, par heure de marche, de

1 kilog. de braise nitratée à 150 fr. la tonne, soit 0f.15
0k,45 de charbon nouveau à 160 — 0,072

Conclusions. — « En présence de ces résultats négatifs, « nous n'avons pas poursuivi l'expérience de cet appareil, « évidemment insuffisant pour chauffer une de nos voi- « tures de 3e classe.

« D'après M. Kiénast, il eût été nécessaire, eu égard à « la capacité à chauffer, de porter le nombre des serpen- « tins de trois à cinq, de disposer une bouche de chaleur « sous chaque banquette et d'augmenter la longueur du « foyer.

« Ces modifications, ayant pour conséquence d'accroître « le prix de revient de l'installation et la consommation « du combustible, n'ont pas été exécutées.

« Comme tout chauffage à air chaud, ce système donne « une mauvaise distribution de la chaleur; il ne chauffe « pas pendant le stationnement; enfin il ne serait efficace « qu'au prix d'une grande consommation d'un combustible « coûteux; ces motifs nous ont décidés à rejeter définiti- « vement cet appareil. »

II. — Appareil Mousseron.

La compagnie a successivement essayé l'appareil primitif de l'inventeur et diverses modifications.

En principe, l'appareil Mousseron consiste en un calorifère à air chaud placé à l'extérieur ; l'air est introduit par le mouvement du véhicule, s'échauffe autour du foyer et passe dans la voiture.

Des expériences ont été faites :

1° Sur l'appareil de l'inventeur dans lequel l'air chaud arrive dans la voiture par des bouches de chaleur ;

2° Sur un appareil modifié de manière à obtenir une température plus uniforme, un montage et un entretien plus faciles, la possibilité de charger le combustible à de plus grands intervalles de temps. Cet appareil était encore à bouches de chaleur. Relativement aux divers essais précédents, le rapport mentionne : « Les appareils à bouches « de chaleur n'ont généralement pas trouvé un accueil « favorable près du public, qui leur reprochait de donner « des températures élevées à la partie supérieure et relativement basses près du plancher. Les alternatives de « chaud et de froid résultant de l'ouverture des portières « étaient fort désagréables aux voyageurs. Enfin, lorsque « les parois des foyers étaient portées au rouge, l'air « chaud avait une mauvaise odeur, très-sensible surtout « dans les voitures de 1re et de 2e classe, et qui donnait « lieu à de nombreuses réclamations ; »

3° Sur un appareil modifié de façon à obtenir des températures plus élevées près du plancher que sous le pavillon, et surtout à chauffer les pieds des voyageurs au moyen de chaufferettes à air chaud en fonte ;

4° Sur un appareil semblable au précédent, chauffant les pieds des voyageurs au moyen d'un plancher en tôle chauffé par l'air chaud ;

5° Sur un appareil semblable, mais chauffant les pieds au moyen de chaufferettes à air chaud en tôle;

6° Sur un appareil à plus grande surface de chauffe que les précédents et muni de chaufferettes à air chaud en tôle.

Les détails qui suivent se rapportent à ce dernier essai:

5° *Disposition employée.* — Le foyer pour coke est placé sous la voiture; il est muni d'une trémie latérale pour le chargement; l'air destiné au chauffage forme une double enveloppe autour du foyer; il passe ensuite sous les chaufferettes en tôle placées au niveau du plancher et dans les bouches de chaleur placées sous les banquettes. Les gaz de la combustion s'échappent par une cheminée placée à l'extrémité de la voiture (*fig.* 3 et 4, Pl. II).

La *fig.* 2, Pl. II, représente le foyer d'une voiture avec la chaufferette et la bouche la plus voisine.

Résultats calorifiques. — Température moyenne intérieure, 10°,4 de plus que la température extérieure.

Température moyenne au contact des chaufferettes, 43°,8.

Température plus élevée au sol qu'au pavillon (différence, 1°).

Écart maximum des températures.	dans un même compartiment	4°
	dans toute la voiture	11°
	d'un point à l'autre de la même chaufferette.	20°
	d'une chaufferette à une autre	37°

Prix et consommation. — L'application aux voitures actuelles de l'Est coûterait environ :

720	fr. par voiture de	1re	classe ou mixte.
820	—	2e	—
920	—	3e	—

La consommation s'élève à 2k,50 par heure de marche et à 2 kilog. par heure de stationnement, ce qui fait, en comptant le coke à 40 francs la tonne, 0f,10 par heure de marche, et 0f,08 par heure de stationnement (grande déperdition de chaleur par rayonnement).

Conclusions. — Le rapport conclut : « En résumé, les « essais que nous avons entrepris sur les appareils à air « chaud (système Mousseron primitif et perfectionné) ont « mis en évidence les faits suivants :

« 1° L'air chaud se distribue à l'intérieur de la voiture « suivant la loi des densités, de manière que les voyageurs « ont toujours la tête plus chaude que les pieds.

« 2° Les essais que nous avons faits pour ramener la « chaleur sous les pieds nous ont conduits à des disposi- « tions coûteuses, compliquées et peu pratiques.

« 3° L'air chaud avait fréquemment une odeur très- « désagréable, provenant d'un faible tamisage des gaz de « la combustion à travers les parois métalliques chauffées.

« 4° Les voyageurs de 1re et 2e classe se plaignaient de « maux de tête et fuyaient les compartiments chauffés à « l'air chaud ; les voyageurs de 3e classe, au bout de quel- « ques heures de séjour, ouvraient les portières en grand, « de sorte que le bénéfice du chauffage était complétement « perdu.

« Nous ne croyons donc pas que ce mode de chauffage « réponde aux exigences du problème à résoudre. »

Expériences et essais sur le chauffage des voitures à l'aide de charbons agglomérés.

La compagnie a successivement essayé deux types de chaufferettes, et dans chacun d'eux divers combustibles.

La chaufferette Grandjean est constituée essentiellement par trois enveloppes concentriques rivées à une même plaque formant le dessus de l'appareil. Au milieu est disposée une bouche de chaleur. Le combustible, placé dans des paniers métalliques, est introduit par deux grandes ouvertures pratiquées aussi dans le dessus de la chaufferette et fermées par des couvercles.

Le combustible employé a été successivement du *char-*

bon nouveau brûlant sans flamme et sans produire de coke, et du ***charbon de Paris.***

Eu égard à divers inconvénients (passage par les joints des couvercles de chargement d'une partie des gaz de la combustion, maux de tête qui en résultent pour les voyageurs, possibilité de dégâts et d'incendie lors du chargement par l'intérieur de la voiture), la compagnie de l'Est a modifié l'appareil et employé un type spécial.

La chaufferette Grandjean modifiée, type Est (*fig.* 9 et 10, Pl. II), a son foyer hermétiquement fermé à la partie supérieure; un surhaussement de la caisse de $0^{m},05$ a permis de faire le chargement par l'extérieur et des deux côtés de la voiture.

La *fig.* 9, Pl. II, est une coupe transversale de l'appareil passant par la bouche de chaleur et par les conduits d'échappement des fumées.

On a essayé successivement les combustibles suivants :

Charbon Grandjean à	225 fr. la tonne.
— Cohen à	500	—
— nouveau à	160	—

Résultats calorifiques. — On a obtenu :

AVEC LE CHARBON NOUVEAU.		AVEC LE charbon Cohen.		AVEC LE charbon Grandjean.
Différence entre la température moyenne de la voiture et la température extérieure. . .	7°,3	Température de la tôle $1^{h}\,1/2$ après l'allumage.	50°	50°
Différence de température entre l'air à 0,30 du plancher et l'air sous le pavillon. . . .	3°	Température maximum après l'allumage. . .	102°	96°
Écart maximum dans la voiture.	7°	Durée totale de la combustion.	$8^{h}\,1/2$	7^{h}
Température moyenne à la surface des chaufferettes	47°			
Écart maximum de température de la surface des chaufferettes pendant la circulation. .	37°			

Prix et consommations. — L'application du système (y compris surhaussement, 100 fr.) donne lieu à une dépense de

480 fr. par voiture de	1re	classe	à 3	compartiments.
650	—	2e	—	4	—
780	—	3e	—	5	—

La consommation par heure de chauffage, pour une voiture de 3e classe, a été de :

Charbon	nouveau	2k,500	soit.	0f,40
—	Cohen	1 ,750	—.	0 ,525
—	Grandjean	2 ,00	—.	0 ,45

Conclusions. — Le rapport conclut : « La possibilité de « chauffer des voitures au moyen de charbons agglomérés « brûlant dans des chaufferettes nous semble dépendre « exclusivement de la nature et du prix du combustible « employé. De notables progrès ont été faits dans la fabri- « cation de ces charbons, qui atteignent presque les condi- « tions voulues de qualité et de durée au feu ; mais ces « combustibles coûtent encore 300 francs la tonne, et tant « qu'on ne sera pas parvenu à les produire à 100 francs « au maximum, il n'est point téméraire de dire qu'ils n'en- « treront point dans le domaine pratique. Le chauffage « des voitures ne peut être appliqué d'une manière géné- « rale que s'il est susceptible d'une solution économique. »

Expériences et essais sur le chauffage des voitures au moyen d'un courant d'eau chaude circulant dans des appareils fixes.

En principe, le thermo-siphon comprend une chaudière placée sous la caisse de la voiture et une canalisation intérieure parcourue d'une manière continue par l'eau chaude, communiquant d'ailleurs toujours avec l'atmosphère.

La compagnie a successivement essayé l'appareil primitif de MM. Weibel et Briquet et diverses modifications.

Les expériences ont porté :

1° Sur deux appareils Weibel et Briquet de dimensions différentes.

(Ces essais montrèrent que si les appareils présentent certains inconvénients, le chauffage à l'eau chaude offrait assez d'avantages pour qu'on poursuivît les expériences en apportant diverses modifications.)

2° Sur un thermo-siphon type Est avec chaufferettes (type 1873).

Après des expériences préparatoires qui ont permis de se rendre compte, dans des conditions données, de la chaleur émise, de la vitesse de circulation du liquide et de la distribution de la chaleur, on a disposé l'appareil d'expériences qui réalisait sur l'appareil Weibel-Briquet de notables avantages, mais qu'on dut perfectionner encore.

3° Sur un thermo-siphon type Est, avec chaufferettes (type 1874).

Disposition employée. — L'appareil expérimenté est représenté Pl. III, *fig.* 1 à 4. La chaudière, de très-petite dimension et à double paroi, est feutrée. Le chargement du combustible se fait par une trémie.

La grille a une surface de 114 centimètres carrés. La cheminée est à double enveloppe et s'élève à $0^m,13$ au-dessus de la corniche.

La canalisation est extérieure ; celle du départ a $0^m,045$ de diamètre et est feutrée ; la différence de niveau entre les deux conduites est de $0^m,55$.

Les chaufferettes sont construites en fonte et encastrées dans le plancher. Le vase d'expansion est placé sous une banquette. Les éléments suivants diffèrent pour chaque classe de voiture :

	1re CLASSE.	2e CLASSE.	3e CLASSE.
Hauteur du feu.	$0^m,190$	$0^m,225$	$0^m,235$
Surface de chauffe.	$3 \times 0,458 = 1^m,374$	$4 \times 0,458 = 1^m,832$	$5 \times 0,458 = 2^m,290$
Capacité des appareils. . .	80^l	100^l	115^l
Poids des appareils.	550^k	650^k	750^k

Le combustible employé est du coke de gaz chargé toutes les trois heures.

Résultats calorifiques. — Citons les résultats obtenus sur une voiture de 3e classe dans laquelle les compartiments communiquent au-dessus des appuie-têtes, à l'exception de l'un d'eux (extrême) qui est séparé des autres.

La voiture étant fermée et occupée par l'expérimentateur seul, on a obtenu dans les 4 compartiments :

Excès de la température moyenne sur la température extérieure, 9°,88 ;

Température près du sol, supérieure de 2° à la température près du pavillon.

Les plus grands écarts de température constatés dans la voiture sont, au maximum, 7°, en général. . . . . . . 4° ou 5°
Température moyenne au contact des chaufferettes. . . . . 59°
Écart moyen de température sur une même chaufferette. . 3,8
Écart maximum. . . . . 8°
Écart moyen de température sur toutes les chaufferettes. . 7°
Écart maximum. . . . . 9°

L'ouverture de toutes les portières d'un même côté pendant 10 à 13 minutes fait baisser la température intérieure de 3°,5 à 4° et celle de la plaque des chaufferettes de 4° à 5°.

Prix et consommations. — Les dépenses d'installation sont les suivantes :

	SUR VOITURE existante.	SUR VOITURE neuve.
Voiture de 1re classe, 3 compartiments. .	550	510
— 2e — 4 — . .	650	600
— 3e — 5 — . .	720	650

La consommation constatée dans l'ensemble des expériences (87.048 kilom.) a été, en comptant le coke à 40 fr. la tonne :

1k,400, soit 0f,056 par voiture et par heure de marche ;

0k,300, soit 0f,032 par voiture et par heure de stationnement.

Conclusions. — Le rapport conclut : « Les appareils à « circulation d'eau chaude dans des chaufferettes fixes, et « surtout le dernier type étudié et mis en circulation régu- « lière par la compagnie de l'Est, étaient, comme nous « l'avons déjà dit, très-appréciés du public, qui leur a « donné une préférence unanime sur les autres systèmes. « Les avantages de ces appareils, bien constatés par l'ex- « périence, sont les suivants :

« 1° Les pieds reposent sur une plate-forme maintenue « à une température constante de 50° à 60°.

« 2° La tête plonge dans les couches d'air peu chauffées, « dont la température moyenne dépasse de 8° à 10° seule- « ment la température extérieure, ce qui, dans nos climats, « est très-suffisant.

« 3° Le voyageur n'est pas dérangé par l'ouverture des « portières que nécessite le renouvellement des chauffe- « rettes mobiles ordinaires, avantage très-goûté des voya- « geurs de 1re classe.

« Quant aux dépenses d'installation et d'entretien des « appareils, ainsi qu'aux objections de toute nature aux- « quelles ils peuvent donner lieu, nous les apprécierons « un peu plus loin, dans le résumé général et dans « l'examen critique de nos expériences. »

Expériences et essais sur le chauffage par bouillottes mobiles à eau chaude et étude des améliorations à y apporter.

La compagnie a fait des expériences méthodiques sur la chaufferette ordinaire à eau chaude des grands réseaux français.

Disposition employée. — Les chaufferettes de l'Est ont les dimensions suivantes :

Longueur.	0m,910
Section ovale. Longueur, 0m,200, largeur.	0m,078

Elles sont en tôle étamée, sans enveloppe.

Résultats calorifiques. — Les expériences calorifiques sont résumées par les courbes (Pl. III, *fig.* 5), qui expriment les résultats obtenus en marche dans un compartiment de 1re classe muni de 2 bouillottes.

Prix et consommations. — Le prix d'une chaufferette de l'Est est 18 francs. Le chauffage des voitures, tout compris, revient à $0^{f},14$ par chaufferette livrée aux voyageurs.

Chauffage des chaufferettes. — Le progrès à réaliser a paru devoir porter spécialement sur le procédé employé pour chauffer les chaufferettes.

Compagnie d'Orléans. — La compagnie d'Orléans a disposé un appareil qui consiste en une batterie de tubes sous laquelle vient se placer une batterie de chaufferettes portées par un chariot; on abaisse la batterie des tubes jusqu'à les faire plonger, et la vapeur est injectée dans l'eau refroidie des chaufferettes (*fig.* 6, Pl. III).

La dépense de vapeur sur laquelle il faut compter en pratique est de 2 litres par chaufferette pesant 8 kilog. et contenant 10 kilog. d'eau.

Compagnie de l'Est. — La compagnie de l'Est emploie un appareil qui consiste en une citerne dont l'eau est maintenue par un courant de vapeur à une température voisine de 100°. Une *noria* fait séjourner dans l'eau chaude, puis remonter les chaufferettes; la vitesse du mouvement continu de la noria est réglée pour que la chaufferette reste plongée dans l'eau pendant 5 minutes (*fig.* 7, Pl. III).

Une chaufferette remplie d'eau à 0° est portée à 90° par 5 minutes de séjour dans la citerne à 100°.

Examen des propositions diverses, des idées originales émises par un grand nombre d'inventeurs.

La compagnie de l'Est a enfin examiné de nombreux systèmes présentés par des inventeurs : production de chaleur par le frottement de pièces mises en mouvement par le train, emploi de briques chauffées aux calorifères des

gares et placées dans les chaufferettes des trains, utilisation de la vapeur d'échappement pour chauffer de l'eau et l'envoyer dans une canalisation, emploi de chaufferettes contenant de la chaux vive que l'on éteint au moment de placer l'appareil dans la voiture, emploi de thermosiphons chauffés par des lampes, utilisation des gaz chauds de la locomotive pour chauffer l'eau qui doit circuler dans la canalisation, etc., etc.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL ET CONCLUSIONS.

Estimation des dépenses de toute nature auxquelles donnerait lieu l'application à un réseau de chemins de fer déterminé, et en particulier au réseau de la compagnie de l'Est, des principaux systèmes de chauffage étudiés dans les précédents chapitres.

A titre de comparaison, le rapport met en regard les unes des autres les dépenses qui résulteraient pour un réseau comme le réseau de l'Est, de l'application des différents systèmes de chauffage étudiés ci-dessus.

Les éléments qui ont servi à établir la comparaison se résument comme suit :

Matériel à aménager (y compris la réserve).	1re classe	341	Total : 2.155 voitures.
	Mixtes	230	
	2e classe	614	
	3e classe	970	
Circulation quotidienne.	En semaine	893 véhicules.	
	Le dimanche	1.163 —	
Durée du chauffage : 15 octobre au 15 avril.	1.345.163 heures de marche.		
	3.198.181 — de stationnement.		
Prix par 1.000 kilog.	Coke de gaz	40f,00	
	Combustibles agglomérés	300,00	
	Houille	30,00	
Journée des agents spéciaux de chauffage		3,75	

La comparaison des frais d'application des différents systèmes est résumée par le tableau suivant extrait du rapport.

Tableau récapitulatif des dépenses résultant de l'application, sur les lignes de la compagnie de l'Est, des divers systèmes de chauffage des trains.

SYSTÈME de chauffage.	DÉPENSES d'installation.	DÉPENSES ANNUELLES.						
		Combustibles et frais d'allumage.	Eau.	Personnel.	Entretien des appareils.	Intérêt et amortissement	Dépenses imprévues.	Total des dépenses annuelles.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
Poêles (appliqués seulement aux voitures de 3e classe).......	283,500,00	49.374,30	»	46.546,50	29.100,00	36.713,20	12.906,00	175.000,00
Chaufferettes mobiles à eau chaude.	656.900,00	81.900,00	5.160,00	172.672,50	36.360,00	107.590,85	6.016,65	410.000.00
Appareils à circulation d'eau chaude dans des chaufferettes fixes................	1.452.550,00	177.680,00	»	112.776,30	107.750,00	188.105,25	33.688,45	620.000,00
Appareils à air chaud (système Mousseron).............	1.804.900,00	182.635,50	»	87,843,20	86.200,00	233.734,55	29,586,75	630.000,00
Chauffage par circulation de vapeur..................	.916.300,00	140,957,20	1.807,60	244.826,40	150.035,00	299.960,85	34.412,95	875.000,00
Appareils à chaufferettes chauffées par combustibles agglomérés..	1.515.900,00	815.743,95	»	66.202,50	90.190,00	196.209,05	21.554,50	1.190.000,00

Résumé général de ces études. — Examen critique des divers systèmes. — Conclusions spécialement en ce qui concerne le réseau français.

En résumé, les compagnies d'Europe dont les systèmes ont été étudiés exploitent plus de 100.000 kilomètres de voies ferrées placées dans des conditions variées, et cependant toutes sont arrivées à un nombre très-limité de solutions pour le chauffage.

L'Angleterre s'en tient à la bouillotte d'eau chande qui, au dire de presque toutes les compagnies, satisfait suffisamment les voyageurs.

L'Allemagne a fait toutes les tentatives, mais les administrations allemandes concluaient, au Congrès de Dusseldorf, en 1874 : « De ces nombreux systèmes de chauffage, « en partie appliqués, en partie restés à l'état d'essais, « aucun n'a acquis jusqu'à ce jour une préférence mar- « quée. » Si l'on prend l'opinion de différentes compagnies, on trouve des divergences notables, les unes se déclarent satisfaites de ce que d'autres abandonnent, etc., etc.

Si enfin on cherche ce qui peut convenir le mieux aux chemins de fer français, on est obligé tout d'abord de considérer deux grandes catégories de systèmes de chauffage :

1° Systèmes exigeant la solidarité des voitures;

2° Systèmes à installation séparée sur chaque voiture.

Dans les conditions actuelles de l'exploitation française, il faut rejeter tout système exigeant la solidarité des voitures. Les expériences faites par la compagnie de l'Est lui ont révélé de sérieuses difficultés, principalement pour entretenir les soupapes placées sous les conduites de jonction et pour permettre d'intercaler ou de supprimer une voiture aux gares intermédiaires. Le rapport résume la question dans les termes suivants : « Il résulte de l'examen « des faits et des expériences tentées sur divers chemins

« de fer du continent, qu'étant donnés le matériel actuel « des chemins de fer et les conditions de l'exploitation en « France, il faut chercher la solution du chauffage des « voyageurs de 2e et de 3e classe, en plaçant sur chaque « véhicule des appareils indépendants. »

Classification des différents systèmes au point de vue de la dépense.

L'examen des systèmes, au point de vue de la dépense, peut se résumer par le tableau suivant :

Tableau résumant les dépenses de toute nature auxquelles donnerait lieu l'application, à un même réseau (*), des divers systèmes de chauffage existants, dépenses rapportées aux éléments principaux de l'exploitation et du trafic.

SYSTÈME de chauffage.	DÉPENSES de premier établissement. Dépenses totales.	rapportées à chaque voiture en service.	rapportées à chaque kilomètre en exploitation.	DÉPENSES annuelles de chauffage.	DÉPENSES TOTALES ANNUELLES DU CHAUFFAGE comprenant les frais de combustibles, d'allumage, d'eau, de personnel, d'entretien des appareils, d'intérêt et d'amortissement du capital, de premier établissement et les dépenses imprévues. pour 1.000 francs de recettes-voyageurs.	par voiture-heure.	par voiture-kilomètre.	par voyageur-kilomètre.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
Poêle appliqué aux voitures de 3e classe seulement.	283.500,00	292,26	128,11	175.000,00	9,209	0,30432	0,009879	0,001142
Appareils à air chaud (système Mousseron).	1.804.900,00	837,50	802,90	630.000,00	17,997	0,46827	0,014974	0,002726
Appareils à combustibles agglomérés	1.515.900,00	703,43	674,33	1.190.000,00	33,996	0,88474	0,028324	0,005149
Appareils à circulation de vapeur (système bavarois).	2.316.300,00	1.074,84	1.030,38	875.000,00	25,027	0,65052	0,020809	0,003784
Appareils à circulation d'eau chaude dans des bouillottes fixes.	1.452.500,00	674,03	646,13	620.000,00	17,713	0,46094	0,014742	0,002686
Chaufferettes à eau chaude.	656.900,00	304,82	290,43	410.000,00	11,714	0,30483	0,009753	0,001772

(*) Réseau actuel des chemins de fer de l'Est.

Examen critique des différents systèmes.

L'examen des divers systèmes peut se résumer comme suit :

Chauffage avec combustibles agglomérés. — Il y a nécessité de chauffer les pieds et non les siéges, ce qui exige le relèvement du châssis. L'effet calorifique du combustible va rapidement en diminuant. Les dangers d'incendie et d'asphyxie sont loin d'être négligeables. Le combustible aggloméré coûte environ 300 francs la tonne.

Conclusion du rapport. — « Aussi longtemps que l'in-
« dustrie ne sera pas parvenue à produire ce charbon à
« des conditions vraiment économiques, c'est-à-dire à
« abaisser ce prix au quart de la valeur actuelle, le procédé
« ne semble appelé à prendre aucune part au chauffage des
« trains en France. »

Chauffage à la vapeur. — Que la vapeur soit empruntée à la machine ou à la chaudière, on a comme inconvénients : nécessité d'établir avec grand soin des conduites à pression de vapeur dont les fuites sont un danger ; difficulté d'entretenir les raccords, joints, soupapes et appareils de réglage ; possibilité des congélations ; difficulté pour l'intercalation des voitures ; solidarité entre le chauffage de toutes les voitures ; malaise souvent éprouvé par les voyageurs, par suite d'une trop haute température. Chacun de ces deux modes présente en outre des conditions spéciales :

1° Vapeur empruntée à la locomotive.

Ce mode séduit parce qu'on utilise ainsi à un nouvel usage le personnel et le matériel ; mais il faut commencer par le chauffage une heure avant le départ, ce qui exigerait d'augmenter de $\frac{1}{5}$ l'effectif des machines ; de plus on ne peut appliquer ce procédé aux trains mixtes, où les voitures à voyageurs ne sont pas placées immédiatement derrière

la locomotive; enfin, au delà de 12 voitures, le chauffage n'est plus assez efficace.

2° Vapeur empruntée à une chaudière spéciale.

On a à sa disposition une grande capacité calorifique facile à régler, mais il n'est pas sans danger d'avoir, en cas de collision ou déraillement, une chaudière au milieu du train.

Conclusion du rapport. — « En résumé, ce système « tend à se généraliser en Allemagne comme chauffage de « luxe et pour améliorer le confortable des 1res classes. « En France, le but que nous poursuivons est tout autre: « les rigueurs du climat n'exigent pas d'ailleurs un mode « de chauffage aussi énergique, et le tempérament du « voyageur se prêterait difficilement à des séjours pro- « longés dans un wagon dont la température intérieure « dépasse généralement 20°. Tous les voyageurs français « qui ont circulé dans les trains chauffés à la vapeur en « rapportent une impression générale de malaise. En ré- « sumé et si l'on tient compte des objections que nous « venons de récapituler, on est conduit à conclure que ce « mode de chauffage ne paraît pas approprié à l'exploi- « tation des chemins de fer français. »

Chauffage à l'air chaud. — Les différents systèmes présentent les vices fondamentaux suivants :

L'air chaud envoyé dans les voitures se distribue suivant la loi des densités, ce qui est essentiellement malsain.

La voiture remplie d'air chaud ne renferme qu'un approvisionnement insignifiant de calorique.

Les foyers donnent quelquefois passage aux gaz de la combustion.

Les essais de chaufferettes de toute nature n'ont donné que de médiocres résultats avec des dispositions compliquées.

Conclusion du rapport. — « Nous nous croyons en droit

« de conclure de nos expériences que tout système de « chauffage consistant à envoyer dans les voitures des cou- « rants d'air chaud, quels que soient d'ailleurs les appa- « reils employés à chauffer cet air, est mauvais en principe « et préjudiciable à la santé publique, et qu'il serait infi- « niment préférable de laisser les voyageurs endurer les « rigueurs des frimas pendant les jours, assez peu nom- « breux du reste, des hivers froids de notre pays, plutôt « que de les condamner à séjourner dans des étuves mal- « saines contre lesquelles le public français serait una- « nime à protester. »

Chauffage au poêle. — La chaleur est mal distribuée dans la voiture ; la présence du combustible dans la voiture même est un danger.

Conclusion du rapport. — « Ce mode de chauffage est « incontestablement le plus simple et le plus économique; « on s'explique la faveur dont il jouit sur certains chemins « suisses, allemands et autrichiens, et particulièrement « avec le matériel dit *américain*, mais nous n'hésitons pas « à dire qu'il est inapplicable au matériel français actuel. « Au reste, l'expérience que nous en avons tentée sur notre « réseau a été décisive : les voyageurs placés près des « poêles ouvraient invariablement leurs portières en grand « pour combattre la chaleur qui les incommodait, et les « voitures munies de ce mode de chauffage étaient litté- « ralement désertées du public. »

Chauffage au moyen d'appareils à circulation d'eau chaude dans des chaufferettes fixes. — Les avantages de ce système sont de maintenir sous les pieds des voyageurs une température constante de 60° et de porter la température de la voiture à 10° au-dessus de la température extérieure.

Il présente aussi certains inconvénients : le foyer sous chaque voiture, quoique alimenté au coke, offre en cas

d'accidents quelques dangers; la réparation de l'appareil exige de faire rentrer toute la voiture aux ateliers; la longueur du temps d'allumage et la possibilité de congélation engagent à laisser les appareils en feu, sans discontinuité, depuis le premier jusqu'au dernier jour de chauffage.

Conclusion du rapport : « Nous croyons donc que le système « à circulation d'eau chaude répond, dans nos climats, de « la manière la plus satisfaisante, aux conditions d'un « excellent chauffage, et qu'il importe de l'expérimenter « sur une assez grande échelle pour se rendre un compte « exact du degré d'importance que pourraient prendre, « dans le service journalier de l'exploitation des chemins « de fer, les inconvénients que nous venons de signaler. »

Chauffage au moyen de bouillottes mobiles à eau chaude. — Les avantages de ce système, au point de vue de la salubrité, etc., sont bien connus du public; on observe, il est vrai, un chauffage peu énergique; d'autre part, toutes les deux ou trois heures on ouvre les portières pour le renouvellement des bouillottes; enfin le nombre d'appareils à employer est considérable (il faut 18.000 bouillottes pour le chauffage de tout le réseau de l'Est).

La seule difficulté fondamentale consiste dans le chauffage des bouillottes; les compagnies d'Orléans et de l'Est ont résolu la question de deux manières qui paraissent satisfaisantes.

CONCLUSION GÉNÉRALE.

Les résultats de l'étude qui précède peuvent, en définitive, se résumer comme suit :

Tout se réduit, dans nos climats, à chauffer les pieds des voyageurs au moyen de l'eau chaude contenue, soit dans des bouillottes fixes, soit dans des bouillottes mobiles.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

Planche I.

Fig. 1 et 2. A Panier à combustible.
B Entrée de l'air venant de la voiture.
C Entrée de l'air pour la combustion.
D Sortie des produits de la combustion.
H Grillage permettant le passage de l'air chaud.

Fig. 3. . . A Entrée de l'air extérieur à échauffer.
B Air chaud.
C Entrée de l'air pour la combustion.
D Sortie de la fumée.
E Toit de la voiture.
F Papillon de réglage.
G Cheminée à l'intérieur de la voiture.

Fig. 4. . . A Air froid provenant de l'intérieur de la voiture.
B Air chaud.
C Garniture réfractaire.
D Air extérieur.
E Air à échauffer provenant de l'intérieur de la voiture.
F Fumée.

Fig. 5. . . A Air extérieur à échauffer dans la première enveloppe.
B Air chaud de la première enveloppe.
C Air chaud de la deuxième enveloppe.
E Entrée de l'air pour la combustion.
F Cheminée à l'intérieur de la voiture.
G Première enveloppe.
H Deuxième enveloppe.
I Bouchon de nettoyage.

Fig. 6. . . A Chaufferette avec son tuyau de réchauffage.
B Conduite générale de vapeur.
C Vase d'expansion.
D Banquette.

Fig. 7 et 8. A Bec de gaz.
B Porte d'allumage vitrée.
C Face supérieure de la chaufferette.
D Produits de la combustion. { D′ premier appareil. D″ deuxième appareil.

E Tuyau de distribution du gaz et robinet de réglage.
F Bords des banquettes.

Fig. 9. . . A Entrée de l'air froid.
B Sortie de l'air chaud.
C Conduit de circulation de la fumée.

Fig. 10. . . A Entrée de l'air froid.
B Sortie de l'air chaud.

Fig. 11. . . A Conduite générale de vapeur.
B Appareil de réglage.
C Air chaud.
D Banquette.

Planche II.

Fig. 1. . . A Entrée de l'air froid.
B Sortie de l'air chaud.
D Produits de la combustion.

Fig. 2. . . A Entrée de l'air pour la combustion.
B Première enveloppe.
C Deuxième enveloppe.
D Chaufferette.
E Air chaud.
F Trémie de chargement.
G Papillon de réglage.

Fig. 9 et 10. A Air pour la combustion.
B Produits de la combustion.
C Panier à combustible.
D Surface de la chaufferette.
E Air chaud.
F Air chaud.
G Enveloppe protectrice.

Planche III.

Fig. 3. . . A Eau.
B Feutre.
C Enveloppe protectrice.
D Trémie de chargement.

Fig. 4. . . E Eau chaude.
G Eau chaude.
H Retour d'eau refroidie.
L Surface de la chaufferette.
P Purgeur d'air.

Fig. 6. . . A Rail servant à guider le chariot.
B Tourillons du casier mobile.

C Chaufferettes placées verticalement.
D Conduite de vapeur.
E Tuyaux d'injection de vapeur.
G Bielle de relevage.

Fig. 7. . . A Arrivée de la vapeur.
B Sortie de la vapeur.
C Citerne d'eau chaude.
D Table recevant les bouillottes chaudes.

NOTES DE VOYAGE EN ANGLETERRE,

Par M. Louis PELATAN, ancien élève de l'École des mines.

Ayant fait en 1875 un voyage d'étude dans quelques-uns des districts métallurgiques de l'Angleterre, je me permets de présenter aujourd'hui, d'une manière très-succincte, la relation de certains faits que j'ai observés et qui m'ont paru particulièrement intéressants au point de vue de la sidérurgie. En faisant ce petit travail, je n'ai nullement l'intention de me livrer à des considérations théoriques; je me bornerai à décrire sommairement, et tels que je les ai vus, les installations, les méthodes de travail, les appareils, etc., qui ont attiré mon attention. C'est dans cet ordre d'idées que je vais passer en revue les principales fonderies, forges ordinaires et aciéries Bessemer et Martin des districts du nord de l'Angleterre (Cleveland, Durham, Cumberland), du pays de Galles et même d'Écosse.

Il m'a paru nécessaire à l'intelligence de ces notes de réunir, dans quatre paragraphes différents, ce qui concerne :

1° Les hauts fourneaux;
2° Les fonderies de seconde fusion;
3° Les forges ordinaires;
4° Les aciéries.

I. *Hauts fourneaux.*— Les hauts fourneaux des districts que j'ai visités présentent peu de particularités qui ne soient déjà connues. Les types les plus récents, qui ne diffèrent souvent des anciens que par le mode de construction et les dimensions, ont été décrits et étudiés dans un grand nombre de publications, de sorte qu'il reste peu de chose

à ajouter sur ce sujet. Je vais pourtant dire quelques mots d'une modification apportée à la construction du creuset dans quelques hauts fourneaux, et qui tend à se répandre dans les usines anglaises.

Dans les hauts fourneaux auxquels je viens de faire allusion, le creuset est entièrement maçonné sur tout son pourtour, c'est-à-dire à *poitrine fermée;* on laisse seulement, à l'avant et au niveau du fond, un orifice qu'on tamponne avec de l'argile réfractaire et qui sert à la coulée de la fonte. A l'aplomb de ce premier orifice on en ménage un second pour l'évacuation des laitiers, qui s'écoulent, du reste, à l'extérieur sur une plaque de gentilhomme, comme dans les creusets ordinaires. Avec ce mode de construction, on n'a plus ni dame, ni tympe refroidie; c'est une simplification. Cette modification du creuset est adoptée à Clarence, à Thornaby, à Norton, dans le Cleveland; à Consett, dans le Durham; à Workington, dans le Cumberland; à Dowlais, dans le pays de Galles, et encore dans d'autres usines. Dans quelques-uns des établissements métallurgiques dont les noms précèdent on ne s'est pas contenté du simple changement décrit plus haut : de nouvelles améliorations ont été apportées au creuset. Parmi ces derniers, je m'arrêterai à ceux de Norton et de Thornaby.

L'usine de Norton a des hauts fourneaux dont le creuset, fermé complétement à l'avant et à l'arrière, est percé de trous de coulée diamétralement opposés sur les deux faces latérales. C'est ainsi qu'on a, pour un même creuset, deux trous de coulée pour la fonte et deux orifices d'évacuation pour les laitiers. Avec ce dispositif on s'arrange de façon à faire couler la fonte d'un même côté pendant 15 jours, tandis que les laitiers s'évacuent par le côté opposé; pendant les 15 jours suivants, l'inverse a lieu, et ainsi de suite.

L'usine de Thornaby est celle qui a été le plus loin dans la voie des modifications. Tout en adoptant le creuset fermé avec orifices percés dans la poitrine pour la fonte

et les laitiers, elle a appliqué, pour la coulée de ces derniers, le *système Lürmann*, importé d'Allemagne. Le trou laissé dans la paroi du creuset pour l'écoulement des laitiers a $0^m,03$ de diamètre, il est cylindrique. On introduit dans ce trou un manchon métallique à doubles parois où l'eau circule comme dans les tuyères ordinaires. Le vide central du manchon, qui est un cylindre de $0^m,03$ de diamètre, est l'orifice d'écoulement des laitiers. Tel est, dans sa simplicité, le système Lürmann, qui évite ou du moins atténue la corrosion de la poitrine du creuset.

Ce dispositif a un inconvénient, c'est que le refroidissement dû au manchon à courant d'eau peut occasionner des accrochages aux bords du trou des laitiers. Les ingénieurs anglais ont supprimé cet inconvénient en apportant une modification assez heureuse au système primitif : pour la coulée des laitiers, on ménage, dans la poitrine du creuset, une ouverture rectangulaire de $0^m,25$ de hauteur sur $0^m,75$ de largeur. Les côtés inférieur et supérieur de cet orifice sont formés chacun par une plaque métallique à double paroi et à circulation d'eau. Entre ces plaques est damée de la terre réfractaire sur une épaisseur égale à celle de la paroi du creuset. C'est dans cette terre damée qu'on perce un trou de $0^m,03$ de diamètre pour l'évacuation des laitiers. On évite, par cette disposition, la corrosion des briques du creuset et, en partie, celle de la terre réfractaire, tandis qu'on ne refroidit pas assez les bords de l'orifice pour y provoquer des accrochages.

II. *Fonderies de seconde fusion.* — Le matériel et le travail des fonderies de seconde fusion qu'il m'a été donné de visiter en Angleterre ne présentent aucune particularité bien intéressante.

Je décrirai sommairement néanmoins un cubilot soufflé par l'intermédiaire de la vapeur d'eau, que j'ai vu fonctionner à Norton (Cleveland), dans une fonderie de coussi-

nets. Ce cubilot est intérieurement et extérieurement cylindrique; son diamètre intérieur est 1m,30 et sa hauteur 9m,15. Il est en briques réfractaires avec chemise de tôle. A sa partie supérieure il communique, par un tuyau horizontal, avec une colonne creuse en tôle qui s'enfonce verticalement dans le sol et dont le diamètre est 0m,60. Cette colonne rejoint un canal souterrain maçonné aboutissant à une cheminée en briques. Un tube métallique de petit diamètre pénètre dans la colonne de tôle, par sa partie supérieure, et y amène un courant de vapeur d'eau sous pression, qui se détend instantanément, se condense et fait le vide, établissant ainsi dans le cubilot, muni de tuyères, un fort courant d'air. On compte, à 0m,60 du fond du cubilot, 8 tuyères ou plutôt 8 orifices qu'on peut fermer plus ou moins à volonté au moyen d'obturateurs. Le cubilot que je viens de décrire donne de très-bons résultats. On y fond 5.000 kilog. de fonte en une heure, avec une consommation en coke inférieure de 5 p. 100 à la consommation des cubilots ordinaires (*). La fonderie de Norton possède 4 de ces cubilots à vapeur que 4 petites chaudières suffisent à desservir. Pour l'évacuation des gaz on a une cheminée commune aux quatre.

III. *Forges ordinaires.* — Parmi les nombreuses forges à fer que j'ai étudiées, les seules qui présentent une réelle originalité comme installation, matériel et travail, sont celles d'*Erimus* (Cleveland), où l'on applique sur une grande échelle le *procédé Danks* un peu modifié; ce sont les seules dont je m'occuperai dans ce travail.

L'usine d'*Erimus* occupe un espace rectangulaire borné au nord par la Tees et au sud par le chemin de fer de Stockton à Middlesborough. Elle comprend trois corps de

(*) Il n'est guère probable que cette économie, si elle est réelle, soit due au mode de soufflage. L. G.

bâtiments ou ateliers placés à côté les uns des autres : 1° l'atelier de puddlage, 2° l'atelier d'ébauchage, 3° l'atelier de laminage et de finissage. (V. Pl. IV, *fig.* 4 et 5.)

1° L'atelier de puddlage A comprend deux lignes de fours Danks, construits par groupes de deux et se faisant vis-à-vis. Sur une des lignes, on a 8 fours et sur l'autre 7 seulement. Entre chaque paire de fours est une grue fixe à potence pour la manœuvre du rampant mobile, pour le chargement, le déchargement, etc. Outre les 15 fours Danks il y a 3 réverbères où l'on grille les battitures de cinglage et laminage ; ces battitures forment, avec le *ganister*, les deux éléments entrant dans la préparation des soles pour le puddlage. A une des extrémités de la halle qui nous occupe se trouvent 2 cubilots à 2 tuyères (*a*) servant à fondre, avant son introduction dans les Danks, la fonte que l'on veut puddler. A l'autre extrémité, sur le prolongement d'une des lignes de fours, est établi un *squeezer* puissant (*b*), destiné à presser les grosses loupes de fer pesant en moyenne 8 à 900 kilog. Un pilon de 3 tonnes, dont la tête présente un biseau, est installé à côté du squeezer pour diviser les loupes pressées en masses faciles à cingler.

2° L'atelier d'ébauchage B, qui fait suite à celui de puddlage, est couvert par un hangar de deux travées ; l'axe de la première travée est occupé par une ligne de 3 pilons de 8 tonnes. Dans l'axe de la seconde se trouve placé un train ébaucheur ou *forge-train* de 24 pouces, à deux cages, pour barres brutes. Une paire de cisailles dessert ce train. Trois fours à réchauffer ordinaires se trouvent à une des extrémités de la halle et servent au réchauffage des loupes cinglées.

3° Les ateliers de laminage et d'ébauchage C s'étendent à côté du précédent. Installés sous un hangar à 3 travées, ils renferment 8 fours ordinaires de réchauffage desservant un train de rails ou *grand mill* à 2 cages, commandé

par une machine horizontale à 2 cylindres couplés, de 180 chevaux; puis des scies, des machines-outils pour le redressage, le fraisage, le perçage, etc.

Telle est l'installation générale de l'usine à fer d'Erimus. Je vais maintenant examiner sommairement le matériel, surtout celui du puddlage, et le travail.

Des 15 fours Danks existants, 9 sont du type ancien très-connu et n'offrent aucune particularité de construction. Leurs dimensions sont grandes : la chauffe mesure $1^m,30$ de largeur sur $1^m,10$ de profondeur; le laboratoire a $2^m,10$ de longueur et $1^m,50$ de diamètre intérieur au milieu. La sole, épaisse de $0^m,15$, est formée de couches alternatives de ganister et de riblons liquatés et grillés; elle est recouverte extérieurement d'épaisses douves en fonte frettées avec des cercles de fer. Chacun des appareils est flanqué d'une petite machine à vapeur à deux cylindres verticaux couplés qui commande la sole rotative par engrenages. Les fours Danks modifiés, au nombre de 6, ne diffèrent ni comme forme, ni comme dimensions, des anciens. Seulement, l'enveloppe extérieure du laboratoire est refroidie par un courant d'eau. On évite, par ce refroidissement, la rupture trop fréquente des plaques métalliques des parois.

Le squeezer qui sert à presser les grosses loupes de fer que donne le puddlage mérite quelques mots de description : il est formé de 2 rouleaux en fonte de $0^m,50$ de diamètre (V. Pl. IV, *fig.* 8 à 10), placés tous deux au niveau du sol, et d'un énorme cylindre, également en fonte, de $1^m,80$ de diamètre, calé au-dessus d'eux, auquel on peut donner un mouvement de rotation alternatif dans un sens et dans l'autre. C'est entre ces 3 cylindres que la loupe est comprimée. Le grand cylindre est évidé longitudinalement d'un côté pour permettre l'introduction et l'enlevage des masses de fer. A mesure que les rouleaux dont je viens de parler tournent et agissent par compression, une tige très-massive, en fer, commandée directement par un piston

se mouvant dans un cylindre horizontal convenablement placé, martèle latéralement la loupe soumise à l'action du squeezer.

Je ne m'arrête pas à décrire les autres parties du matériel de l'usine ; elles n'offrent aucun intérêt spécial. Il me suffira, pour terminer, de relater rapidement la manière dont se fait le travail.

Les 6 fours modifiés seuls sont en marche, en attendant que les 9 anciens aient reçu, à leur tour, la modification dont il a été question. Pour faire une opération au four Danks, on commence par faire fondre au cubilot la quantité de fonte qu'on veut traiter. A Erimus, cette quantité est de 1.000 kilog. en moyenne. La fonte, fondue en une demi-heure, est coulée dans une poche portée sur roues, qui l'amène au four à puddler, dont on a enlevé le rampant mobile. On verse le contenu de la poche dans le laboratoire, on referme le rampant, et l'opération se trouve commencée. Au début, la sole rotative fait 3 tours par minute, puis la vitesse augmente et atteint 5 tours pendant la période d'ébullition. Après le bouillonnement, le fer prend nature. On peut compter une durée totale de quarante minutes pour l'épuration, qui donne une loupe pesant environ 900 kilog. Par vingt-quatre heures, un Danks fait 12 opérations et produit au moins 9 à 10 tonnes de loupes. La loupe formée pendant une opération est extraite du four, après enlèvement du rampant, au moyen d'une fourchette fixée par une chaîne à la charpente du hangar qui abrite l'atelier. Une seconde fourchette, plus puissante que la première et qui, suspendue à un chariot roulant au haut de l'atelier, peut parcourir celui-ci dans toute sa longueur, amène les grosses loupes jusqu'au squeezer et au marteau-pilon qui les divise.

Si nous suivons une loupe sortant du squeezer, nous voyons qu'on la cingle sous le pilon à l'atelier d'ébauchage et la divise en quatre massiaux, et qu'après un premier



réchauffage on la transforme en barres brutes au *forge-train*. Les barres cisaillées et mises en paquet vont à l'atelier de laminage. Ici, on a un second réchauffage pour le passage à la cage dégrossisseuse et un troisième réchauffage pour la cage finisseuse. En résumé, on compte trois chaudes pour arriver au fer fini. On a songé à économiser une chaude en supprimant le forge-train. Pour cela, on construit dans l'atelier de laminage un nouveau train de blooming qui, avec le train finisseur, donnera des barres finies en deux chaudes. On supprimera ainsi, du même coup, une chaude et la mise en paquets.

Voyons maintenant rapidement quelles sont les consommations de matières premières par tonne de fer fini.

Le déchet au puddlage étant de 10 à 12 p. 100, il faut compter 1.150 kilog. de fonte par 1.000 kilog. de fer en loupe produit.

La consommation de combustible est plus difficile à trouver : au cubilot, on brûle de 80 à 100 kilog. de coke par 1.000 de fonte. Au puddlage, on brûle environ 1.000 kilog. de tout-venant par 1.000 kilog. de fonte traitée. Enfin, pour les trois chaudes nécessitées par l'ébauchage et le laminage, on peut compter une consommation de 750 à 800 kilog. Nous mettrons 1.000 kilog. si nous ajoutons le combustible des diverses chaudières de l'usine.

Dans une usine comme celle d'Érimus, la main-d'œuvre offre aussi un intérêt très-grand. Il ne faut pas oublier, en effet, que les fours Danks ont été surtout imaginés pour apporter une économie à cette source si grande de dépenses, en supprimant le brassage et la formation des loupes. Étudions le personnel de la fonderie, ce qui est le point capital. Pour un seul cubilot en marche, on a 2 chargeurs et 1 fondeur. Pour deux fours Danks, formant en quelque sorte une unité de travail, on compte 5 hommes, soit 15 hommes pour 6 fours en marche. On compte, en outre, 2 porteurs pour les loupes déchargées et 3 hommes

pour un four de liquation des battitures. Puis vient le personnel du squeezer comprenant : 1 gamin au squeezer ; 1 porteur pour la loupe qui en sort ; 1 gamin au marteau diviseur des loupes ; 2 porteurs pour les fragments de loupes. L'atelier de puddlage, avec 6 fours en feu, a un personnel de 26 hommes et 2 gamins. Ceci ne constitue qu'une équipe de douze heures. Il faut doubler les chiffres si l'on considère la journée de vingt-quatre heures.

Les consommations et la main-d'œuvre étant connues, il n'est pas sans intérêt de voir quel peut être le prix de fabrication pour une tonne de fer en loupe. En se reportant aux données qui précèdent, il est facile d'opérer la mise au mille :

	kil.	fr.
Fonte du Cleveland à 48 sh.	1.150	67,00
Houille à 12 sh.	1.000	15,00
Coke à 17 sh. (fusion au cubilot).	100	2,10
Main-d'œuvre à 8 sh.	$0^{j},50$	5,00
		89,10

On peut constater que le prix de revient ainsi obtenu est sensiblement inférieur à celui que donnent, en général, les fours à puddler ordinaires.

IV. *Aciéries Martin et Bessemer.* — La fabrication des aciers fondus par les procédés Martin et Bessemer a pris, depuis longtemps déjà, une très-grande importance en Angleterre. J'ai visité plusieurs aciéries appliquant les deux procédés. Les usines Bessemer ne m'ont paru présenter rien de bien nouveau comme installation ; jusqu'ici l'attention des ingénieurs ne s'est guère portée, dans ces établissements, que sur le travail. Les usines Martin, au contraire, qui tendent à prendre un développement de plus en plus grand depuis les quatre ou cinq dernières années, offrent l'exemple d'installations originales et intéressantes. Je vais décrire rapidement trois des plus importantes

aciéries Martin du Royaume-Uni, faisant suivre cette description de quelques notes sur trois belles installations de Bessemer.

a) Aciéries Martin.

1. **Usine de Hallside.**—L'aciérie de *Hallside* est située auprès du village de Newton, à 15 milles au sud de Glasgow, au centre du bassin houiller écossais. Cette usine marche depuis deux ans à peine et a déjà une importance considérable. La situation, à vrai dire, est excellente : on peut se procurer sur place les meilleures fontes d'Écosse, le combustible et une main-d'œuvre de premier choix. L'usine comprend deux corps de bâtiments principaux et placés l'un à côté de l'autre : dans le premier A se fabriquent les lingots d'acier; dans le second B se fait leur élaboration mécanique. (V. Pl. IV, *fig.* 6 et 7.)

L'atelier de fabrication des lingots comprend, sur une seule ligne, 16 fours Siemens, dont 10 sont construits et 6 en construction. Des 10 fours construits, 7 seulement étaient en feu lors de ma visite. Devant chaque four Siemens est creusée, dans le sens perpendiculaire à sa longueur, une fosse de 1m,40 de largeur et de 1 mètre de profondeur. Dans cette fosse sont alignées des lingotières en forme de prismes à base carrée. Des rails placés au-dessus servent à la circulation d'un chariot C qui porte une poche de coulée ordinaire à quenouille. (V. Pl. IV, *fig.* 1 à 3.) Cette poche se place auprès du four pour recevoir l'acier produit à la fin de chaque opération et vient ensuite se placer successivement à l'aplomb des diverses lingotières, sollicitée qu'elle est par une chaîne s'enroulant sur un treuil à bras T, placé à l'extrémité de la fosse de coulée. Ces petites fosses de coulée, particulières aux divers fours, sont toutes creusées au fond d'une excavation de 3 mètres de profondeur faite dans le sol de l'usine devant toute la ligne des Siemens. Ce qui fait surtout l'originalité de la halle de



coulée, c'est le système adopté pour déplacer les lingots, les lingotières, faire le démoulage, etc. Deux lignes ferrées L, L', parallèles toutes deux à la ligne des fours de fusion, soutenues par des colonnes de fonte au niveau même du sommet de ces fours, sont parcourues chacune par une puissante locomotive munie, sur sa chaudière, d'une grue dont le bras courbe peut atteindre des points assez distants de l'axe de la voie et tourne, à volonté, autour de la verticale de son point d'attache. On exécute très-commodément, au moyen de ces grues mobiles, toutes les opérations que nécessitent le moulage, le démoulage et les transports dans la halle de coulée. On ne peut reprocher au système qu'un peu de défaut de stabilité des locomotives sur leurs voies.

Derrière l'atelier de fabrication dont la description précède, se trouve une rangée *a* (*fig.* 7) de 20 générateurs à 4 grilles, fournissant le gaz aux fours de fusion et à ceux de réchauffage qui se trouvent dans l'atelier d'élaboration mécanique. Les générateurs réunissent tous leurs gaz dans une conduite commune; ils sont placés les uns à la suite des autres par groupes de cinq.

Les ateliers de laminage comprennent, pour les rails ordinaires : 8 grands fours Siemens à réchauffer, 2 pilons de 8 tonnes et un grand train de laminoir de 24 pouces à 3 cages : deux nouveaux fours à réchauffer et un pilon de 10 tonnes sont en construction. Pour les rails de mines, éclisses, etc., on a deux petits Siemens de réchauffage et un train de 12 pouces. A la suite de l'atelier de laminage, on trouve celui de finissage comprenant les machines-outils employées le plus habituellement.

Les fours Siemens de fusion n'offrent, à Hallside, rien de particulier comme construction. Leurs dimensions seules sont intéressantes à connaître. Et d'abord, il y a deux types de fours : les anciens, qui passent des charges de 5^t,500 à 6 tonnes, et les nouveaux, qui peuvent aller jusqu'à 10 ton-

nes. Les premiers ont une sole de $2^{m},75$ de longueur sur $1^{m},85$ de largeur ; la profondeur du trou de coulée au-dessus des portes de travail y est de $0^{m},56$. La sole des seconds mesure $3^{m},81$ de longueur sur $2^{m},29$ de largeur, la dénivellation qui existe entre le trou de coulée et les portes étant cette fois de $0^{m},66$. Le massif total d'un four de 6 tonnes occupe une surface rectangulaire de $5^{m},15$ sur $2^{m},70$; pour un four de 10 tonnes, cette surface est de $6^{m},10$ sur $3^{m},05$. Quoique ne m'étendant pas sur la construction des Siemens, je crois utile de mentionner leur trou de coulée dont on est satisfait. Ce trou est en forme d'ellipse dont le grand axe est vertical ; on le tamponne avec de l'argile à travers laquelle on ménage un trou de $0^{m},08$ de diamètre au moment de la coulée. Une gargouille en tôle à doubles parois et à circulation d'air fait suite au trou de coulée et amène le métal dans la poche.

Dans l'atelier de laminage les grands fours à réchauffer les lingots ont des soles de $4^{m},27$ sur $2^{m},60$; il y a trois portes sur chaque face.

Les générateurs à gaz ont la forme habituelle et sont construits de façon à avoir leur partie supérieure au niveau du sol de l'usine. Un générateur occupe un espace carré de 4 mètres de côté, et chacune de ses quatre grilles mesure une largeur de $1^{m},20$ sur une profondeur de $0^{m},60$, offrant ainsi une surface de $0^{m2},72$.

Je termine ce qui concerne le matériel en disant quelques mots des cylindres du grand laminoir à rails. Ces cylindres sont fabriqués à l'usine même avec d'excellentes fontes écossaises. On moule en coquille après avoir eu soin de placer dans l'axe du moule un cylindre en fer de $0^{m},10$ de diamètre. Cette pièce de fer s'enlève ensuite, ou se laisse à volonté ; on préfère la laisser. Il paraît qu'on peut obtenir ainsi des cylindres de laminoir offrant une énorme résistance.

Revenons à l'atelier de fabrication pour y étudier le

travail. Soit un des fours de 6 tonnes prêt à être mis en feu : on dame sur la sole en fonte du *ganister* ou sable siliceux pur, sans rien ajouter de plus, sur une épaisseur de $0^{m},25$. On met en feu, et, à partir de ce moment, on change le sens du courant des gaz et de l'air toutes les heures.

Le lit de fusion, dont le poids varie de $5^{t},500$ à 6 tonnes, est toujours compris comme composition dans les limites suivantes :

Fonte grise écossaise n° 1 ou n° 2.	$3^{t},000$
Scraps et chutes d'acier.	$1^{t},200$ à $1^{t},500$
Minerai pur d'Espagne ou d'Afrique. . .	$1^{t},000$ à $1^{t},800$

On peut compter en gros : $\frac{1}{2}$ de fonte grise, $\frac{1}{4}$ de scraps et $\frac{1}{4}$ de minerais. Les matières s'introduisent froides dans le four. Au début on charge, en une fois, les saumons de fonte et les scraps. Il faut à peu près deux heures pour fondre le tout. Au bout d'un certain temps les matières en fusion se mettent à bouillonner et l'on commence à faire des additions successives de minerai. Vers la fin le bain devient calme, l'opération est poussée trop loin, et on la ramène par une addition de spiegel à 20 ou 25 p. 100 de manganèse. Suivant les résultats donnés par des prises d'essais successives, la proportion de spiegel ajoutée varie entre 7 et 9 p. 100. L'acier fondu est alors coulé dans la poche disposée en contre-bas du four et l'on emplit les lingotières. L'opération complète dure de six à sept heures, exceptionnellement huit. Aussi arrive-t-on couramment à passer trois charges par journée de vingt-quatre heures, ce qui donne une production de 15 à 16 tonnes pour les petits fours.

Les aciers obtenus à Hallside sont d'excellente qualité. L'usine s'attache surtout à produire des numéros un peu doux, comme on peut s'en convaincre en voyant les analyses suivantes :

Fer	99,01	99,08
Carbone	0,48	0,59
Silicium	0,08	0,12
Soufre	0,02	0,03
Phosphore (?)	»	»
Manganèse	0,41	0,38
	100,00	100,00

La faible proportion d'impuretés que renferment ces aciers s'explique par la composition du lit de fusion, composé en grande partie de scraps et de fonte pure.

Les fontes écossaises employées tiennent :

Carbone graphitoïde	2,5 à 3,5
Carbone combiné	0,3 à 0,4
Silicium	0,5 à 0,8

Si, malgré la faible teneur de cette fonte en silicium, l'acier contient une quantité appréciable de ce métalloïde, on doit peut-être en voir la raison dans la forte proportion de minerais espagnols ou africains employée.

Les lingots d'acier venant à la halle d'élaboration mécanique, sont martelés après un premier réchauffage, puis immédiatement transformés en blooms dans la première cage du *grand mill* pour rails. On emploie les deux premiers jours de la semaine à faire ces blooms, qu'on profile ensuite dans la seconde cage du mill après un nouveau réchauffage. Les rails se font ainsi en deux chaudes.

Si l'on considère les lits de fusion extrêmes employés à Hallside, on pourra facilement avoir deux limites entre lesquelles doivent se tenir les prix de revient. Voici les deux lits de fusion que nous allons considérer.

	tonnes.	tonnes.
Fonte écossaise.	3,000	 3,000
Scraps d'acier.	1,000	 1,200
Minerais.	1,500	 1,800
	5,500	6,000
Addition de 8 p. 100 spiegel. . .	0,450	 0,480
Charge totale.	5,950	 6,480
Déchet de 7 p. 100.	0,416	 0,453
Acier obtenu.	5,534	 6,027

En comptant toutes les matières aux prix courants de l'époque de ma visite, et en ajoutant le prix des 5 à 600 kilog. de houille qu'on brûle dans les générateurs par tonne d'acier brut fabriqué, on a, pour le premier lit de fusion, 139 francs de frais, et pour le second 124 francs. Ces chiffres ne comprennent, bien entendu, que le prix des matières premières.

A Hallside, tout le travail de l'atelier de fusion est donné à l'entreprise à un seul maître fondeur qui reçoit $18^{r},75$ (15 sh.) par tonne d'acier en lingot. Lors de ma visite, les 7 fours en marche produisaient 105 tonnes par vingt-quatre heures, et le chef d'atelier touchait 1.950 fr. par jour. C'est sur cette somme qu'est payé tout le personnel de la fonderie.

On a 3 fondeurs par four de fusion, soit 21 pour 7 fours. Le personnel de la coulée se compose, pour 1 four, de 9 hommes : 3 à la poche et 6 au treuil. N'ayant jamais plus de deux opérations à mener de front, on n'a que deux équipes de 9 hommes : dans les fosses. Par journée on compte 3 postes de 8 heures. Le personnel total sera composé par suite de 63 fondeurs et de 54 ouvriers pour la coulée. A cela il faut ajouter 3 postes de 8 chauffeurs, soit 24 hommes pour les 20 générateurs. En ajoutant la main-d'œuvre, on arrive à avoir pour limites du prix de revient des lingots : 132 et 157 francs, non compris les intérêts d'argent, l'amortissement, l'entretien, etc. Il est permis

d'espérer qu'avec les fours de 10 tonnes ces frais se réduiront d'une manière sensible.

2. **Usine de Landore.**—L'aciérie de *Landore* est située à deux milles de Swansea (pays de Galles) sur la ligne qui réunit cette ville à Cardiff. Créée bien avant celle d'Hallside et appartenant aussi à M. Siemens, cette usine est la première où l'on ait adopté en grand le procédé Martin en Angleterre. Les matières premières nécessaires à la fabrication telles que combustibles, scraps, ferrailles, se trouvent sur place; les fontes viennent du Cumberland, on choisit les meilleures marques. Il est assez difficile de donner une idée de la disposition générale de l'usine qui comprend deux halles de fabrication et des ateliers d'élaboration mécanique pour les rails, les bandages et les fils d'acier.

Des deux halles de fabrication, je laisserai l'ancienne qui contient 8 vieux fours et qu'on est en train de démolir, pour m'occuper spécialement de la nouvelle, qui comprend 16 fours de fusion. Les 16 fours forment deux lignes parallèles et se font vis-à-vis. Dans l'espace compris entre ces lignes, sont installées les fosses de coulée. Chaque four a, comme à Hallside, une fosse rectangulaire creusée à l'avant et perpendiculairement à sa direction, avec chariot portant la poche et circulant au-dessus. Entre les fosses des deux lignes parallèles de fours, existe un espace libre sur lequel est établie une double voie ferrée servant au transport des lingots, lingotières, etc. Une plate-forme de $1^{m},20$ de largeur et de 12 mètres de longueur parcourt la halle de coulée générale dans le sens de sa longueur sur une voie ferrée dont les rails, placés à 4 mètres au-dessus du sol de l'usine, ont pour écartement la distance qui sépare les deux rangées d'appareils Siemens. Sur la plate-forme circule un wagonnet portant une forte grue à vapeur qui peut atteindre tous les points de l'atelier. Le système est sollicité par des tringles fixées le long des rails et tournant sous l'influence d'une petite machine

à vapeur. Il n'y a pas, dans l'atelier, de four pour le chauffage préalable des matières, qu'on traite toujours froides.

L'ancienne halle de fabrication que j'ai mentionnée va être démolie. A la place on construira une nouvelle installation de 8 fours Siemens de grand modèle pouvant passer de 10 à 11 tonnes. Entre l'ancien et le nouvel atelier de fabrication sont rangés, sur une seule ligne et par groupes de deux, quarante générateurs à quatre grilles réunissant tous leurs gaz dans une conduite générale unique. Les ateliers de laminage et de finissage sont voisins des ateliers de fusion.

La halle d'élaboration mécanique pour *rails* comprend : 8 fours de chauffage pour les lingots passant au cinglage et au *blooming* et 4 fours pour les *blooms* passant au profilage. On a, pour le cinglage, deux pilons de 8 tonnes, et pour le laminage un *grand-mill* de 24 pouces commandé par une machine de 400 chevaux et composé de trois cages : une de blooming, une de dégrossissage pour *blooms*, une dernière de finissage. A la suite du laminoir on a l'atelier de perçage, fraisage, redressage, etc. Le grand mill qui est réversible peut passer par semaine de 800 à 850 tonnes de rails.

L'*atelier de bandages* renferme 4 fours à réchauffer de petit modèle et trois pilons pour le martelage et l'ébauchage qui se fait en deux chaudes. Pour finir les bandages on a deux fours grand modèle et un laminoir horizontal commandé par une machine spéciale. Trois chaudes suffisent pour faire un bandage.

La *tréfilerie* comprend un *mill* pour barres ogives et un train de tréfilerie commandé par la même machine. On a deux fours à réchauffer pour le *mill* et un seul pour le train qui peut fabriquer 8 tonnes de fil par jour.

Tous les fours à réchauffer employés sont du système Siemens et reçoivent leurs gaz des générateurs placés auprès des halles de fabrication.

Landore n'offre rien de bien particulier quant au matériel. Les fours de fusion ont six portes, trois de chaque côté; leur sole a 4m,80 de longueur sur une largeur de 2 mètres. La distance verticale entre le trou de coulée et le niveau des portes de travail atteint 0m,80. La garniture de la sole est en *ganister* très-pur. Le massif total d'un four occupe une surface rectangulaire de 6m,70 sur 2m,40. La charge ordinaire est de 7 tonnes.

Les générateurs à gaz ont des grilles galloises en gradins de 1m,20 de largeur sur 0m,80 de profondeur. On y passe une forte proportion de menu. Un massif de quatre grilles occupe un espace carré de 5 mètres de côté.

L'aciérie de Landore a, dans le début, appliqué le procédé Martin sans addition de minerai. Peu à peu cependant elle est entrée dans une voie nouvelle et elle a modifié son lit de fusion de façon à rapprocher son roulement de celui d'Hallside. La charge actuelle varie comme proportions, dans les limites suivantes :

Fonte.	4t,500 à 4t,200	7t,000
Scraps d'acier.	0t,650 à 0t,700	
Ferrailles.	0t,750 à 1t,000	
Minerais.	0t,750 à 1t,000	

On voit, au premier coup d'œil, que la quantité de minerais ajoutés est faible en comparaison de celle qui entre dans la charge de l'aciérie de Glasgow. L'opération est assez lente, aussi dure-t-elle jusqu'à onze et douze heures, coulées et réparations de sole comprises. A la fin, on fait, lorsque le bain est assez doux, une addition de 10 à 12 p. 100 de spiegel à 14 p. 100 de manganèse fabriqué dans des hauts fourneaux qui font partie de l'usine : on ajoute en général moins de spiegel pour l'acier à bandages et à fils.

Voici une analyse d'acier pour rails fabriqué Landore :

Fer	99,125
Carbone	0,490
Silicium	0,009
Soufre	0,041
Phosphore	0,066
Manganèse	0,396
Calcium	0,047
	100,174

L'acier pour bandages ou pour fil est plus doux, il ne contient pas plus de 0,35 p. 100 de carbone. La qualité des aciers de Landore provient surtout du bon choix des matières premières : fontes des meilleures marques du Cumberland, minerais purs d'Algérie, d'Espagne, de Barrow, etc.

Un four fait deux opérations par vingt-quatre heures, ce qui donne 14 tonnes d'acier brut en lingots, si l'on compte un déchet de 10 p. 100. Actuellement 14 fours sur 16 sont en marche et la production hebdomadaire de l'usine, en lingots bruts, s'élève à 1.000 ou 1.200 tonnes.

3. **Usine de Dowlais.**—Les aciéries de la célèbre usine de *Dowlais* sont fort importantes : on y applique concurremment les deux procédés Bessemer et Martin. Il sera d'abord question de l'installation adoptée pour la mise en pratique de ce dernier procédé. Les établissements de Dowlais sont situés près de Merthyr-Tydvil, au centre du district métallurgique du pays de Galles. L'installation Martin comprend six fours de fusion Siemens placés sur une seule ligne, par groupes de deux, de façon à présenter trois unités de travail distinctes. Deux fours formant groupe ont, devant eux, une fosse de coulée semicirculaire commune et installée complétement à la manière des fosses Bessemer ordinaires : on a une grue hydraulique centrale portant la poche et deux grues hydrauliques latérales pour les lingotières, les lingots, etc. Les fours Siemens sont construits de façon que leurs régénérateurs émergent au-

dessus du sol de l'usine, ce qui a pour but d'éviter de donner une profondeur exagérée à la fosse de coulée ; mais aussi cela exige l'installation d'une plate-forme de travail en arrière des fours.

On dit un grand bien de l'organisation mécanique des halles de coulée des Siemens de Dowlais ; on la préfère à ces dispositifs, que nous avons signalés dans d'autres usines, avec grues mobiles sur des voies aériennes, etc.

Les générateurs à gaz, du même type que ceux de Landore, par groupes de 12, sont sur une seule ligne parallèle à celle des fours Siemens de fusion. Il y a 4 de ces groupes, soit 48 générateurs. Les gaz de 4 appareils se réunissent dans une conduite commune.

L'atelier d'élaboration mécanique des lingots s'étend devant les halles de coulée et sous le même hangar. Il y a d'abord 4 fours Siemens à réchauffer pour la première chaude et un pilon de 8 tonnes pour le cinglage. On a ensuite un *grand mill* de rails à 2 cages : une cage dégrossisseuse de 36 pouces et une finisseuse de 24. Entre les passages à la première et à la seconde cage on a une chaude que les *blooms* subissent dans cinq fours à réverbère ordinaires.

Les fours Siemens de fusion employés à Dowlais ont absolument les mêmes dimensions que ceux de Hallside ; ils sont construits sur le même modèle. On y charge 6 tonnes de matières, sans compter l'addition finale de spiegel. L'usine de Dowlais a établi ses fours Siemens surtout pour utiliser les scraps d'aciers, chutes de rails, riblons, etc., que produisent en grande quantité ses immenses forges et son atelier Bessemer. Ceci influe beaucoup sur la charge et par suite sur le travail. Le lit de fusion contient relativement très-peu de fonte et de minerais. Voici du reste la charge habituelle :

Fonte.	1^t,250 à 1^t,500
Scraps, riblons, etc.	4^t,000 à 4^t,500
Minerais.	0^t,400 à 0^t,500
	6^t,000

La durée de l'opération varie généralement entre 10 et 12 heures, chaque four passant 2 charges par jour. A la fin de l'opération, on fait une addition généralement assez forte de spiegel, à 9 ou 10 pour 100 de manganèse, fabriqué à l'usine même; on en met 12 pour 100 environ. Le déchet, à la fusion, est de 8 pour 100. Cinq fours en marche sur six donnent 350 à 400 tonnes d'acier brut par semaine. Les aciers de Dowlais sont très-purs, ce qui n'a rien d'étonnant avec la quantité de métal déjà affiné que contient le lit de fusion.

Le personnel de l'atelier de fabrication comprend 12 fondeurs dont 2 pour chaque four, et 6 hommes à la coulée pour toute l'installation. On a deux postes, un de jour et un de nuit. Pour arriver à avoir 1 tonne d'acier laminé, la consommation de combustible s'élève à 2^t,000 et même 2^t,500.

b) Aciéries Bessemer.

1. **Usine d'Ebbw-Vale.** — L'importante aciérie d'*Ebbw-Vale* (pays de Galles) est située près de Dowlais, sur la ligne de Cardiff. Elle achète ses fontes à la célèbre fonderie de Pontipool, qui est voisine, et elle fabrique elle-même son spiegel.

L'atelier Bessemer proprement dit comprend trois fosses de deux cornues adossées à un même mur. Les fosses ne se distinguent en rien de celles que l'on voit d'ordinaire. Les convertisseurs en tôle, garnis en dedans de ganister, ont 2^m,25 de diamètre intérieur. Le fond a 1^m,20 de diamètre et porte 16 tuyères de 0^m,50 de hauteur, percées chacune de 13 trous de $\frac{3}{8}$ de pouce. Derrière le mur auquel

s'adossent les cornues se trouvent les cubilots de fusion pour la fonte Bessemer et le spiegel. A chaque fosse correspondent 2 grands cubilots pour fonte et 2 petits pour spiegel. Tous ces cubilots sont à 2 tuyères seulement. Les grands ont 1^m,40 de diamètre au creuset et 1^m,20 à la cuve; les tuyères sont à 0^m,50 du fond; la hauteur totale est de 3 mètres. Les petits n'ont que 1^m,50 de hauteur et 0,80 de diamètre intérieur. Les uns et les autres sont en *ganister* avec chemise de tôle. Un grand cubilot passe en 12 heures 6 charges de 6^t,500 et consomme 10 pour 100 de coke et 4 à 5 pour 100 de castine.

L'atelier d'élaboration mécanique s'étend devant celui de fabrication des lingots. On y remarque une rangée de 6 fours à réchauffer du système Siemens, un train de *blooming* à une seule cage de 30 pouces, un marteau-pilon de 10 tonnes, un train de laminoir ou *grand mill* de 24 pouces à 2 cages, et enfin des machines-outils pour le finissage des rails.

L'usine d'Ebbw-Vale passe de très-bonnes fontes. Voici l'analyse de fonte Bessemer n° 2 traitée et provenant de Pontipool :

Fonte Bessemer n° 2.	Fer	92,70	Acier obtenu.	Fer	99,478
	Carbone graphitoïde	3,10		Carbone	0,292
	Carbone combiné	0,35		Silicium	0,011
	Manganèse	2,40		Soufre	0,012
	Silicium	1,55		Phosphore	0,061
				Manganèse	0,136
				Calcium	0,016
		100,10			100,006

En regard de la fonte, je mets de l'acier obtenu, qui est doux, quoique destiné à faire des rails. La fonte se fait remarquer par sa pauvreté en silicium.

La charge des convertisseurs d'Ebbw-Vale est de 5^t,500 de fonte. On a une période de *scorification* durant environ 5 minutes; la décarburation dure de 15 à 20 minutes. Quand l'opération est trop chaude on ajoute, pendant cette seconde période, un morceau de lingot froid, pesant de 100 à 200 kilog. Cette addition se fait au moyen d'une grue sans

renverser la cornue. On renverse le convertisseur au bout de 20 à 25 minutes, et l'on y ajoute 8 à 10 pour 100 de spiegel fondu à 14 pour 100 de manganèse. On ne fait pas d'acier tenant plus de 0,30 à 0,35 p. 100 de carbone. Le déchet, à la coulée, est de 10 pour 100.

La coulée d'une partie de la charge d'acier se fait en source, après qu'on a préalablement versé toute cette charge dans une poche à quenouille. Pour cela, on dispose dans la fosse un châssis en fonte portant des briques creuses qui, par leur réunion, donnent 8 canaux partant du centre du châssis où se trouve un cylindre en fonte garnie de terre, de 0,10 de diamètre intérieure. Aux bouts des 8 canaux sont placées des lingotières ayant la forme de prismes à base carrée. On verse l'acier dans le conduit central et l'on emplit ainsi les 8 lingotières sans soufflures. On donne au conduit central une plus grande hauteur qu'aux moules, pour avoir une masselotte dont la pression a de bons effets. Le reste de l'acier se coule de la façon ordinaire. Les lingots pèsent 500 kilog., car Ebbw-Vale la mine à double longueur. Une fosse de deux convertisseurs fait 12 opérations par vingt-quatre heures. L'atelier, avec deux fosses en marche, a une production hebdomadaire de 800 tonnes. Avec les trois fosses on pourrait atteindre 1.200 tonnes.

Les rails se font en deux chaudes dans l'atelier d'élaboration mécanique : une chaude pour le cinglage et le blooming. Pour des lingots de 0m,30 sur 0m,30 de section, le *forge-train* a une machine de 200 chevaux. Le *grand mill* est commandé par une machine à 2 cylindres couplés de 350 chevaux. Il peut passer 1.200 tonnes par semaine. Sur le devant de la halle de laminage on a une ligne de six générateurs ordinaires à 4 grilles pour le service des fours à réchauffer. Chaque générateur correspond à un four Siemens.

2. **Usine de Dowlais.**— L'aciérie Bessemer de Dowlais (pays de Galles) est située à côté de l'aciérie Martin que

j'ai décrite plus haut, en parlant une première fois de cette usine.

Il y a trois fosses de deux cornues adossées contre un mur, absolument comme à Ebbw-Vale. La disposition des halles de coulée n'offre aucune particularité. Derrière chaque fosse sont disposés, sur une ligne, trois grands cubilots pour fondre la fonte à traiter; sur une ligne perpendiculaire à la première on a deux petits cubilots à spiegel.

Les grands cubilots sont loin d'être tous pareils; il y a, parmi eux, trois types bien distincts : 1° cubilots à 4 tuyères de 5^{m},80 de hauteur et de 1^{m},40 de diamètre intérieur; ces cubilots fondent 5^{t},500 en une heure et demie avec une consommation de 150 kilogrammes par tonne de fonte.

2° Cubilots de 8 tuyères placées 4 par 4 à des niveaux différents. Les dimensions et les résultats sont les mêmes que dans les précédents.

3° Cubilots de 16 tuyères de 1^{m},80 de diamètre intérieur et de 5^{m},50 de hauteur. Les tuyères sont par groupes de 8 à des niveaux différents. On peut passer jusqu'à 11 charges de 5^{t},500 par douze heures, avec ce dernier type. On souffle de l'air à 8 ou 10 pouces d'eau de pression.

Les cubilots à spiegel ont 2 mètres de hauteur et 0^{m},90 de diamètre, avec 2 tuyères. On y consomme 250 à 300 kilog. de coke par tonne de spiegel fondu.

Les convertisseurs de Dowlais passent des charges de 5^{t},510 à 6 tonnes. Leurs fonds en *ganister* sont munis de 13 tuyères percées chacune de 13 trous. On traite uniquement les fontes de l'usine dont voici les teneurs en carbone, silicium et soufre :

ANALYSES :	CARBONE.	SILICIUM.	SOUFRE.
N° 1.	3,72	2,52	«
N° 2.	3,70	2,63	«
N° 3.	3,67	2,76	0,050
N° 4.	3,53	3,12	0,061
N° 5.	3,47	2,26	0,063

Ces fontes sont, on le voit, très-siliceuses et donnent des opérations chaudes qui ne durent pas souvent plus de 20 minutes. On ne pousse généralement pas l'opération très-loin. L'addition finale est d'environ 7 p. 100 de spiegel, tenant de 9 à 14 p. 100 de manganèse. L'acier obtenu est assez doux, il renferme :

Fer	99,850
Carbone	0,350
Silicium	0,023
Soufre	0,022
Phosphore	0,061
Manganèse	0,331
Calcium	0,028
	100,665

Une fosse Bessemer de Dowlais fait 6 opérations en douze heures et produit environ 400 tonnes de lingots par semaine. Ordinairement il n'y a que deux fosses en activité. La coulée se fait à Dowlais comme partout et de la façon la plus ordinaire. Le personnel de la coulée se compose, pour deux convertisseurs, de 10 hommes.

Je ne décrirai pas l'atelier d'élaboration mécanique, me contentant de signaler le grand train de laminoir qui sert, à la fois, au blooming et au laminage des rails. Ce train comprend deux cages. La cage de blooming est à 4 cylindres dont les axes, placés 2 à 2 dans le même plan vertical, sont tous à des niveaux différents. C'est comme si l'on avait accolé deux cages duos dont les cylindres ne se correspondraient pas. Les lingots cinglés passent successivement entre les deux paires de cylindres, à l'aller; au retour, ils ne passent que dans la paire supérieure. Le train est réversible. La cage de blooming est munie d'un élévateur très-simple. C'est une table portée par deux chaînes s'enroulant sur des poulies et venant s'attacher aux deux extrémités d'un des cylindres laminants. Suivant le sens de la rotation

la chaîne s'enroule ou se déroule. La machine motrice est de la force de 400 chevaux.

3. **Usine de Washington.**—L'aciérie de Washington (Cumberland) est située au centre même du bassin houiller de Whitehaven. Elle produit elle-même ses fontes avec les excellentes hématites de Cleator-Moor et de Barrow.

L'atelier Bessemer proprement dit comprend deux fosses de deux convertisseurs, disposées à la façon de celles de Dowlais et d'Ebbw-Vale. Les convertisseurs passent des charges de $7^t,500$ à 8 tonnes; leur diamètre intérieur est de 2 mètres. Le fond mobile porte 7 tuyères percées chacune de 16 trous de $\frac{3}{8}$ de pouce. Derrière les fosses sont construits les cubilots. A chacune correspondent quatre grands cubilots pour fonte Bessemer et deux petits pour spiegel.

La halle d'élaboration mécanique comprend un pilon de 8 tonnes pour le cinglage des lingots; douze fours Siemens de réchauffage et un train réversible de 30 pouces, muni de deux cages trios: une pour le blooming, une autre pour le profilage. Ensuite viennent les appareils de l'atelier de finissage. Enfin, devant l'installation décrite, est établie une rangée de 18 générateurs ordinaires, à 4 grilles, pour le service des fours à réchauffer. On brûle, dans ces générateurs, 1.020 tonnes de charbon par semaine. L'usine fabriquant environ 500 tonnes d'acier pendant le même temps, la consommation par tonne d'acier fini s'élève à 2 tonnes de houille. Cette forte consommation est due à la nature des charbons du bassin qui tiennent jusqu'à 15 et 18 p. 100 de cendres.

Les fontes traitées sont très-chargées en silicium; elles en renferment plus de 3 p. 100. Les opérations sont, par suite, très-chaudes et durent de 20 à 30 minutes. L'air est soufflé à une pression de 30 à 40 cent. de mercure. La période de scorification est longue, et dure de 7 à 8 minutes. Quand l'opération est par trop chaude, on fait une légère addition

de bouts de rails froids, mais on préfère ne pas le faire, quand on n'y est pas absolument obligé. A la fin de l'opération on fait, dans la cornue, une addition d'environ 8 p. 100 de spiegel fondu sans relevage postérieur. La coulée se fait de la manière habituelle.

Pour terminer, je place en regard les analyses de la fonte et du spiegel employés, ainsi que celle de l'acier obtenu.

ACIER.		FONTE.		SPIEGEL.	
		Silicium.	2,25		
Carbone.	0,30	Carbone graphitoïde.	3,35	Carbone.	4,25
Silicium.	0,06	Carbone combiné. . .	0,30	Silicium.	0,30
Soufre.	0,04	Manganèse. . 0,40 à	0,50	Soufre	0,04
Phosphore.	0,04	Soufre.	0,04	Phosphore.	0,08
Manganèse.	0,40	Phosphore.	0,02	Manganèse. . 10,00 à	21,00
		Titane.	»		

Les aciers de Washington sont doux, leur teneur en carbone ne dépassant pas 0,50 p. 100. Ils sont peut-être un peu siliceux.

D'après ce qui précède, on est amené à remarquer que les usines fabriquant l'acier fondu au four Siemens abandonnent le procédé-type Martin en introduisant dans leurs roulements des proportions de plus en plus fortes de minerais riches et purs. Elles diminuent de la sorte le prix de leur lit de fusion et parviennent à donner, si l'on peut s'exprimer ainsi, une solution partielle du problème consistant à produire directement de l'acier en partant des minerais de fer. A *Hallside*, par exemple, on va jusqu'à passer 2 tonnes de minerais par charge de 6 tonnes.

Une tendance générale que présentent les aciéries Siemens-Martin d'Angleterre est celle qui consiste à augmenter les dimensions des fours de fusion. Les anciens types de fours passent des charges de 5 à 6 tonnes en général; les nouveaux sont construits pour passer des charges doubles. La transition est, comme on le voit, un peu brusque, mais on espère arriver à de bons résultats.

Il est à remarquer que dans les établissements décrits plus haut le lit de fusion se charge toujours *à froid*, et qu'on introduit en une seule fois, sur la sole, la fonte, les scraps et les ferrailles. Les minerais ne s'ajoutent qu'après et par petites parties.

Les halles de coulée avec grues volantes à vapeur, telles que celles de *Hallside* et de *Landore*, ne donnent pas tous les résultats qu'on en attendait; celles de *Dowlais* sont bien préférables, surtout pour les nouveaux fours de grandes dimensions. La force hydraulique est la seule qui soit à la fois assez souple et assez puissante pour manœuvrer les lourdes masses qu'on est actuellement appelé à déplacer continuellement dans les aciéries.

La considération des aciéries qui appliquent le procédé Bessemer amène aussi à formuler quelques remarques importantes : les usines anglaises s'en tiennent jusqu'ici aux convertisseurs de moyennes dimensions passant des charges qui varient de 5 à 7 tonnes. Elles ne paraissent pas devoir, d'ici à quelque temps du moins, dépasser ces limites. La tendance actuelle est plutôt de rendre les opérations plus rapides que d'augmenter les charges. Pour cela, on augmente, autant que possible, le nombre des tuyères du fond, et l'on perce ces tuyères du plus grand nombre possible de trous, de façon à admettre un très-grand volume de vent. La seconde fusion des gueuses de fonte, avant leur introduction dans les convertisseurs, se fait, dans toutes les usines que j'ai visitées, au cubilot. Je n'ai pas vu un seul réverbère destiné à cet usage. Les types de cubilots employés sont nombreux comme formes et dimensions; on munit, en général, ces appareils d'un assez grand nombre de tuyères pour fondre rapidement les charges.

Les aciéries Bessemer anglaises emploient généralement des fontes siliceuses, et souvent la proportion de silicium dépasse 3 p. 100. On trouve cela avantageux au point de vue de l'épuration du métal. Si l'opération est trop chaude,

on se résigne facilement à faire, pendant la période de décarburation, une addition froide de quelques centièmes d'acier.

LÉGENDE EXPLICATIVE DE LA PLANCHE IV.

Fig. 1 à 3. — Disposition des fours Siemens-Martin et des fosses de coulée de l'usine de Hallside (Écosse).

XV. Niveau du sol de l'usine.

C. Poche de coulée montée sur un chariot, et reliée par une chaîne au treuil T.

L, L'. Voies ferrées portées sur colonnes et parcourues par des locomotives portant un bras de grue sur leur chaudière.

a. Trou de coulée.

b. Lingotières.

Fig. 4 et 5. Usine d'Érinus (Cleveland).

Plan horizontal et coupe.

A. Atelier du puddlage.

a. Cubilots.

b. Squeezer.

B. Atelier d'ébauchage.

C. Atelier de finissage.

D. Chaudières.

E. Machine élevant l'eau de la Tees.

Fig. 6 et 7. — Usine de Hallside.

Plan horizontal et coupe.

A. Atelier de fabrication des lingots d'acier, fours Siemens-Martin et halle de coulée.

a. Générateurs à gaz.

B. Atelier d'élaboration mécanique.

bb'. Ligne de Chaudières.

Fig. 8 à 10. — Squeezer rotatif des forges d'Érimus.

RELATION ENTRE LES EXPLOSIONS DE GRISOU ET L'ÉTAT DE L'ATMOSPHÈRE

D'après les travaux de MM. ROBERT H. SCOTT et WILLIAM GALLOWAY, en Grande-Bretagne,

Par M. ED. SAUVAGE, ingénieur des mines.

Depuis quelques années, l'attention des ingénieurs se porte, d'une manière marquée, vers l'étude des explosions de grisou et des conditions dans lesquelles elles se produisent; ces recherches ont une grande importance, car ces accidents font chaque année des centaines de victimes, et il y a un puissant intérêt à en réduire le nombre autant que possible. Le rôle que jouent les poussières de charbon dans ces explosions a été l'objet d'un travail publié, il y a peu de mois, dans les *Annales des mines* (7ᵉ série, t. VII, p. 176 et 180). Un nouvel article sur cette même question paraît dans le présent volume. On a signalé depuis longtemps (*) l'influence que les variations de la pression atmo-

(*) On lit dans le *Traité de l'exploitation des mines* de M. Combes, t. II, p. 535, que : « Les changements de pression atmosphérique ont une grande influence sur le dégagement de ce gaz, qui devient plus abondant quand le mercure baisse dans le baromètre et diminue lorsque le mercure monte. Ce fait que les observations nombreuses faites dans les mines du nord de l'Angleterre, mettent hors de doute, est surtout très-marqué dans les mines où il existe de vieux travaux abandonnés où l'air ne circule point et qui se remplissent de gaz.... L'ingénieur anglais Stephenson a observé des soufflards qui émettaient sous une certaine pression atmosphérique du gaz inflammable, et absorbaient au contraire l'air extérieur, lorsque cette pression venait à augmenter.... »

Dans son *Cours d'exploitation des mines*, t. II, p. 416, M. Callon s'exprime en ces termes : « Il est de notoriété parmi les mi-

sphérique ont sur la quantité de grisou qui se dégage dans l'air des mines. MM. Robert H. Scott, membre de la Société royale, directeur du *Meteorological office*, et William Galloway, inspecteur des mines, ont étudié cette intéressante question, en Grande-Bretagne, avec beaucoup de soin. Ils n'ont pas examiné uniquement l'influence de la pression atmosphérique sur l'air des mines, mais aussi celle de la température et de l'état hygrométrique de l'air extérieur. Leurs travaux sont de nature à intéresser les lecteurs des *Annales*, et j'en donne la traduction dans cette étude.

Ces travaux ont fait l'objet de trois notes séparées (*) ; les réunissant en une seule, j'ai dû introduire quelques modifications dans l'ordre des matières de chacune d'elles; j'ai aussi, afin de ne pas trop allonger la présente notice, supprimé quelques passages, par exemple des tableaux statistiques des accidents dans les divers districts miniers, des détails sur les diagrammes météorologiques des années 1869 et 1870, des instructions pratiques sur

---

neurs, dans les mines que l'on exploite par dépilage...., que l'état d'une mine, au point de vue de l'aérage, est en relation très-intime avec les variations barométriques.

« On dit que, si le baromètre baisse, le mauvais air *sort des vieux travaux*, et qu'il y *rentre*, au contraire, lorsque le baromètre monte...

« Même dans une couche exploitée par remblais, l'espace remblayé en arrière des tailles peut être rempli de gaz....

« On doit dire, même pour ce qu'on peut appeler la production du gaz normal de la mine (celui qui se dégage de la houille fraîchement coupée), que si elle est à peu près indépendante du *taux de la pression*, elle varie temporairement *avec cette pression;* mais cette variation se manifeste d'une manière bien plus marquée sur le gaz *déjà dégagé* qui se trouve accumulé dans les vieux travaux et dans les remblais, où il obéit à la loi de Mariotte. »

(*) " On the connexion between colliery explosions and weather, " *Proceedings of the Royal Society*, vol. XX (1872), p. 292; " on the... in the year 1871," *Quarterly journal of the Meteorological Society*, vol. I, n° 8 (1873); " on the... in 1872," même publication, octobre 1874 (p. 195).

l'usage du baromètre et du thermomètre, etc. Je dois ajouter que je ne me suis pas astreint, d'ailleurs, à faire une traduction tout à fait littérale du texte anglais.

MM. Scott et Galloway commencent par citer les divers auteurs qui ont écrit sur la question ; en voici la liste, qui n'est pas bien longue :

M. T. Dobson a publié, dans les *Reports of the British association*, en 1855, un mémoire sur la coïncidence des explosions de grisou et des cyclones. Il y rapporte les accidents survenus en 1852 dans le nord et l'est du Lancashire et la marche du baromètre à Manchester pendant la même année.

M. Dickinson, inspecteur des mines de cette même partie du Lancashire, a donné, dans son rapport pour 1866, la courbe barométrique à Manchester du 8 au 15 décembre 1866, courbe qui présente une dépression remarquable : pendant cette baisse du baromètre, du 10 au 13, six explosions de grisou ont fait 463 victimes (dont 361 ont péri dans les deux accidents de la houillère des « Oaks »).

Les *Transactions of the North of England Institute of mining engineers* (vol. XIX) donnent le relevé des explosions de 1868 et 1869, avec les diagrammes météorologiques des observatoires de Kew et de Glasgow.

Enfin, dans le journal de la Société météorologique autrichienne (février 1872), M. F. M. Simmersback a écrit une note sur le sujet qui nous occupe.

L'auteur du premier et du plus complet de ces mémoires, raisonnant sur 491 cas d'accidents, prétend que les explosions, quand on les groupe par périodes de 5 jours, se reproduisent chaque année suivant une même loi, correspondant à la loi des températures, c'est-à-dire qu'elles sont d'autant plus fréquentes que la température est plus élevée. Mais l'examen des cas d'explosions survenus pendant les 20 années 1851-70 ne justifie en rien cette théo-

rie. Ces explosions sont relevées dans les rapports des inspecteurs des mines, qui ne citent que les accidents ayant causé mort d'homme; avec les explosions, on confond, dans ces rapports, quelques cas d'asphyxie par l'acide carbonique; mais les causes de l'irruption de ce gaz, au point de vue où nous nous plaçons, sont assez semblables à celles des dégagements de grisou pour qu'il n'y ait aucun inconvénient à prendre ensemble les deux genres d'accidents. Il y a eu 1369 accidents pendant la période considérée, dont 768 de 1851 à 1860 et 601 de 1861 à 1870, bien que la production de houille ait été plus forte pendant cette seconde période décennale. Par contre, le nombre d'accidents très-graves, ayant fait 10 victimes au moins, a été un peu plus grand dans la seconde période, surtout pendant les dernières années : il y a eu, en effet, 13 de ces catastrophes de 1851 à 1855 (inclusivement); 15, de 1855 à 1860; 12, de 1861 à 1865; et 21, de 1866 à 1870.

Pour étudier la relation qui existe entre les explosions de grisou et l'état de l'atmosphère, MM. Scott et Galloway ont pris les diagrammes continus du baromètre et du thermomètre fournis par l'observatoire de Stonyhurst, près de Preston. Des sept observatoires du « *Meteorological Committee*, » c'est le plus central par rapport aux divers bassins houillers de Grande-Bretagne. Pour les bassins d'Écosse et pour ceux du sud du pays de Galles, qui sont les plus éloignés de cette station, les diagrammes pris à Glasgow et à Falmouth auraient convenu un peu mieux, mais les tracer eût compliqué le travail sans avantage bien sérieux. En effet, les dépressions barométriques s'étendent au même moment sur de très-grandes surfaces, et, à moins de tempêtes locales, les oscillations du baromètre sur toutes les houillères de Grande-Bretagne sont à peu près les mêmes qu'à Stonyhurst. C'est, d'ailleurs, ce que montrent clairement les cartes météorologiques, sur lesquelles sont tracées chaque jour les courbes barométriques, et qui permettent

de suivre la marche des aires de dépression et d'élévation. La température est de même assez uniforme dans toutes les régions houillères, ou, du moins, les variations en sont dans le même sens.

Les courbes barométrique et thermométrique étant tracées, les explosions sont marquées, chacune à leur date, par des signes particuliers : par des carrés lorsqu'elles paraissent dues à la baisse de la pression ; par des cercles lorsqu'on les attribue à l'élévation de la température ; enfin par des triangles quand on ne peut les rapporter à l'une ou à l'autre de ces causes. Dans quelques cas, au contraire, on peut supposer qu'elles ont agi simultanément. Des chiffres indiquent les districts dans lesquels ont eu lieu les accidents ; la légende des figures (p. 227) en donne la liste.

Une raison qui peut rendre quelquefois moins apparente la relation qui existe entre les explosions de grisou et l'état de l'atmosphère est la suspension de travail, et même, dans beaucoup de mines, l'arrêt de la ventilation les dimanches. Aussi les dimanches sont-ils marqués par un signe sur les diagrammes.

Les explosions ne se produisent pas en général au moment où le baromètre commence à baisser, mais lorsqu'il baisse depuis quelque temps, et souvent même deux ou trois jours seulement après qu'il a atteint son point le plus bas, quand il a déjà remonté. Il est aisé de se rendre compte de ce fait : lorsque le grisou se dégage en quantité plus grande que d'habitude des cavités qui le renferment, surtout dans les parties de la mine où l'air ne circule pas activement et renferme déjà une certaine proportion de ce gaz, le volume de la portion explosible du mélange augmente et la surface dangereuse de la mine s'étend ; cette extension se fait graduellement par diffusion, le gaz une fois dégagé, et il peut s'écouler un temps assez long avant qu'elle ne cesse. De plus, quand, après avoir diminué, la pression atmosphérique augmente de nouveau, le grisou ne rentre

pas pur dans les vides d'où il s'était échappé, mais c'est un mélange d'air et de grisou qui est repoussé dans ces vides, surtout si les ouvertures par lesquelles ils communiquent avec le reste de la mine sont à la partie inférieure des chantiers et galeries, dont le gaz occupe les parties les plus élevées. Par suite, un certain volume de gaz reste en liberté, et il se diffuse petit à petit dans l'air environnant en formant des mélanges explosibles.

On comprend ainsi pourquoi, lorsque le baromètre a, pendant une période de quelques jours, une série d'oscillations rapides, chacune des baisses, après la première, ne cause plus le dégagement d'une aussi grande quantité de gaz ; les accidents ne surviennent, en général, que lors de la première de ces baisses ou peu de temps après.

Il est intéressant de se rendre compte de quelle manière un dégagement plus abondant de grisou ou une diminution de la quantité d'air qui pénètre dans la mine altère la pureté du courant qui ventile les travaux, et comment la composition de ce courant réagit sur celle de l'atmosphère des parties de la mine aérées seulement par diffusion.

Le gaz se dégage des fissures de la houille et des roches encaissantes, soit directement dans le courant d'air qui l'entraîne hors de la mine, soit dans une atmosphère en repos, comme celle des *cloches* dans le toit des galeries, des galeries en cul-de-sac, des vides dans les remblais. Dans ce cas il se diffuse dans l'air et forme des mélanges qui peuvent être explosibles. Il n'y a guère de danger (à moins que les conditions normales de ventilation de la mine ne soient tout à fait mauvaises, ce qui, en général, ne peut être le cas), tant que la quantité d'air qui ventile les travaux ne descend pas au-dessous de sa valeur moyenne, et que la quantité de gaz qui se dégage n'augmente pas. Mais dès que l'un de ces deux faits se produit, il peut se former des mélanges dangereux en des points où auparavant il n'y

avait nul danger. Le courant qui circule dans la mine devient alors plus riche en gaz sur tout son parcours. Si, par exemple, à un certain moment, il en contenait assez pour former un mélange détonant à son entrée dans une galerie de retour d'air, toute nouvelle diminution de son intensité, toute augmentation du dégagement de gaz le rendra détonant plus loin *en amont*, c'est-à-dire dans les travaux. D'ailleurs, sans que ce courant soit lui-même nulle part formé d'un mélange détonant, son enrichissement en gaz peut rendre dangereuse, par contre-coup, l'atmosphère qui remplit les cavités qu'il ne parcourt pas. Une cloche dans le toit ou une galerie montante en cul-de-sal est, en effet, remplie d'un mélange stagnant de gaz et d'air au-dessus du plan horizontal passant par le point le plus élevé de l'orifice balayé directement par le courant d'air; et, plus on s'élève au-dessus de ce plan, plus la richesse en gaz du mélange augmente. Le gaz se dégage, d'ailleurs, constamment dans le courant d'air par diffusion. Mais si ce courant vient lui-même à s'enrichir en gaz, par exemple de manière à en contenir plus que la portion inférieure de l'atmosphère qui remplit la cavité, la diffusion cesse jusqu'à ce que (par suite du dégagement du gaz sur les parois de la cavité) cette portion inférieure soit devenue à son tour plus riche en gaz que le courant d'air. En définitive, toute l'atmosphère de la cavité se chargera, en chaque point, d'une plus forte proportion de gaz et pourra alors devenir explosible. Elle ne se purifiera par diffusion que très-graduellement, longtemps après que le courant d'air aura repris sa pureté primitive.

Il est un genre d'explosions, assez rares du reste, que l'on ne peut rapporter ni à la pression, ni à la température : c'est celui des explosions par suite de ces dégagements subits et abondants de gaz qu'on appelle *soufflards* (sauf les exemples, probablement très-peu nombreux, rapportés par Stephenson. (Voir la note de la page 1.) Si ces soufflards se

produisent, sans qu'on en soit averti d'avance, dans des houillères où l'on fait usage de lampes à feu nu, le gaz s'allume immédiatement et un ou deux hommes au plus sont brûlés. Si l'on se sert de lampes de sûreté, le gaz peut parcourir des chantiers jusqu'à ce qu'il passe sur une lampe ouverte ou en mauvais état, et alors il se produit une grande explosion.

Les variations de la température de l'air extérieur ont une grande influence sur l'aérage des mines. Dans celles qui sont ventilées naturellement, par les temps chauds, le courant d'air peut s'arrêter complétement et se renverser. L'état hygrométrique de l'atmosphère a aussi de l'influence sur l'activité de la ventilation : si l'air est sec, en traversant des travaux humides, il se chargera de vapeur d'eau et pourra se refroidir au lieu de s'échauffer ; la ventilation deviendra alors peu active. Cela est vrai surtout pour des mines peu profondes. Quant aux mines ventilées artificiellement, si la force employée pour créer le courant est constante, ce courant sera d'intensité variable, selon qu'il sera aidé plus ou moins ou contrarié par les forces naturelles. Il en résulte que, même dans ces mines, la ventilation peut parfois devenir insuffisante sans que l'on s'en doute. Enfin, dans les mines ouvertes dans des couches de charbon friable, susceptible de donner une poussière fine, poussière qui paraît jouer un grand rôle dans certaines explosions, particulièrement dans les plus graves, plus l'air sera sec, plus cette poussière se soulèvera et s'enflammera facilement ; c'est quand l'air extérieur sera le plus froid que, pour un degré donné d'hygrométrie, il sera le plus sec dans la mine, où il est échauffé. (Voir le mémoire sur ce sujet, p. 229.)

MM. Scott et Galloway ont publié les diagrammes thermométrique et barométrique, avec le relevé des explosions, pendant les années 1868-69-70-71-72. Je reproduis les deux derniers (*fig.* 1 et 2, Pl. V), et celui d'octobre 1870

(*fig.* 3, Pl. V), qui offre un exemple très-remarquable de l'effet des baisses barométriques.

Le premier trimestre de 1868 a été marqué par un grand nombre de tempêtes (27 distinctes dans le nord de l'Europe, du 13 janvier au 26 mars, d'après l'*Atlas météorologique*), et 30 explosions peuvent leur être attribuées. En mai, juin et juillet, il y a eu des moments de grande chaleur, marqués par des explosions. En septembre et en octobre, le temps a été constamment beau, et il y a eu peu d'accidents. Le 22 novembre, une grande dépression barométrique s'est produite, et a été marquée par 6 explosions (dans l'espace de 4 jours); vers le 21 décembre, 5 explosions ont coïncidé avec une tempête. En tout, pendant l'année 1868, il y a eu 154 explosions (*) (44 ayant entraîné mort d'homme), dont 72 paraissent dues à la diminution de la pression, et 41 à l'élévation de la température.

En 1869, sur 200 explosions, on peut en rapporter 96 à la diminution de la pression, et 35 à la chaleur. Une violente tempête qui, le 12 février, a détruit un grand nombre de bateaux sur la Manche, n'a été cependant marquée par aucun accident de houillères : la baisse ne s'est pas étendue au nord de la Manche et a été très-passagère.

En 1870, sur 196 accidents, 98 coïncident avec des baisses du baromètre, et 47 avec des températures élevées. Pendant le mois d'octobre (voir le diagramme *fig.* 3, Pl. I), des séries d'explosions ont accompagné trois fortes dépressions barométriques : 5 explosions le 8, 3 le 11 et le 12, et 6 du 24 au 26. Ce diagramme offre une preuve bien frap-

(*) Les explosions entraînant mort d'homme sont seules mentionnées dans les rapports des inspecteurs des mines ; les dates des autres ne sont obtenues que grâce à des renseignements particuliers, et, pour quelques-uns des districts, ces renseignements font défaut. Il y a donc eu en réalité un nombre total d'explosions un peu plus grand. Cette remarque est également vraie pour les années qui suivent.

parte de l'influence de la chute de la pression sur les dégagements anormaux de gaz, cause première des explosions.

En 1871 (voir la *fig.* 1, Pl. V), sur 207 explosions, dont 52 ayant entraîné mort d'homme (*), 113, soit 55 p. 100, coïncident avec des dépressions barométriques, et 39, soit 19 p. 100, avec des élévations de température; restent 55 cas (26 p. 100) qui ne correspondent pas à ces phénomènes. Pendant la dépression des 9 et 10 janvier, il y a eu 5 explosions, et 4 autres ont suivi la baisse du 16. La baisse subite du 20 février a été marquée par 7 accidents.

(*) Ces 52 explosions ont fait 268 victimes; 5 d'entre elles ont été de très-graves accidents, où plus de 10 personnes ont péri. On estime, en outre, à plus de 400 le nombre des hommes blessés dans toutes les explosions de l'année. Trois accidents (ayant fait 58 victimes) se sont produits, dans des mines où l'on faisait usage de lampes de sûreté, au moment du tirage de coups de mine, mais non dans les chantiers mêmes où étaient tirés ces coups de mine. M. Galloway suppose, pour rendre compte des faits de ce genre, qu'une forte vibration sonore peut faire passer la flamme d'une lampe, brûlant dans une atmosphère explosible, à travers le treillis; il a exécuté de nombreuses expériences pour le démontrer. Par exemple, à Glasgow, dans un égout de petite section ($1^m,80$ sur $1^m,20$), une lampe de Davy était posée sur une planche à $0^m,80$ de hauteur et des jets de gaz créaient autour de cette lampe une atmosphère explosible; à une certaine distance, on tirait un coup de pistolet suivant l'axe de la galerie. La flamme traversait le treillis pour les charges suivantes de poudre :

A $8^m,25$ de la lampe	....	1.365 grammes.
$16^m,50$ —	....	2.184 —
$25^m,00$ —	....	2.730 —
$29^m,25$ —	....	3.276 —
$33^m,25$ —	....	3.822 —

L'explosion s'est produite aussi avec un coup de pistolet tiré vers la voûte de la galerie, sous un angle de 70° avec l'axe; la charge était de $5^{gr},45$ et la distance de $33^m,25$.

On peut, en conséquence, supposer avec vraisemblance qu'un fort coup de mine, surtout s'il a débourré, pourra faire passer la flamme des lampes à travers le treillis à une assez grande distance. (Voir le n° 154 des *Proceedings of the Royal Society*, pour 1874, et les *Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers*, 1875, p. 63.)

Les premiers jours de mars ont été les premiers jours chauds de l'année, et 4 accidents sont attribués à cette cause. Pendant la quinzaine qui suit, le baromètre est bas et instable, et plusieurs explosions ont lieu; de même du 10 au 15 avril; le 29 avril, une légère dépression barométrique, jointe à l'élévation de la température, amène 3 accidents le même jour. En mai il y a d'abord plusieurs séries d'explosions qui ne sont pas en rapport avec les influences météorologiques; puis en viennent d'autres qui correspondent à l'élévation de la température, dont 3 le 1er juillet. A la fin de juin, l'abaissement de la pression peut expliquer 5 autres explosions. Vers le 10 août, 4 accidents coïncident avec le maximum de température de l'année. La température, ainsi que la baisse du baromètre, semble être la cause d'un groupe d'accidents vers le 1er septembre. Le 27, 4 explosions surviennent un jour de baisse barométrique. Dans la seconde moitié d'octobre, 14 explosions s'expliquent par des dépressions barométriques; 5 s'expliquent de même du 9 au 11 novembre; enfin, le 20 décembre, une tempête subite, qui passe sur la Grande-Bretagne, est marquée par 5 explosions le même jour.

En 1872 (voir la *fig.* 2, Pl. V) 70 explosions ont fait 163 victimes, et 224 autres n'ont pas entraîné mort d'homme. Il y a eu 3 accidents ayant fait plus de 10 victimes. 3 explosions (39 victimes) sont survenues au moment du tirage de coups de mine dans des houillères où l'on faisait usage de lampes de sûreté, comme je l'ai expliqué dans la note de la page 221. Le 19 janvier, 4 accidents suivent une forte baisse du baromètre; du 23 au 26, 4 autres accompagnent une seconde baisse plus graduelle. Nous avons vu, d'ailleurs, pourquoi, lorsque plusieurs dépressions barométriques se succèdent à court intervalle, c'est surtout la première qui rend les mines dangereuses. Le groupe important d'accidents qui se présente ensuite est celui de 6, les 28 et 29 février et le 1er mars. Le 22 avril,

6 explosions suivent une baisse du baromètre, survenue un dimanche (ce qui a pu contribuer à rendre les mines encore plus dangereuses le jour suivant). Pendant l'été, on peut attribuer à la chaleur plusieurs séries d'accidents; puis viennent des groupes d'explosions accompagnant des baisses du baromètre, vers le 10 et le 30 août, le 31 octobre, le 23 novembre, les 5 et 9 décembre.

En résumé, on peut classer ainsi les explosions des années 1868 à 1872, quant à leur cause météorologique :

ANNÉES.	NOMBRE d'explosions (*).	PROPORTION des cas qu'on peut attribuer : à la baisse du baromètre.	à l'élévation du thermomètre.	PROPORTION des autres cas.
1868	154	47 p. 100	27 p. 100	26 p. 100
1869	200	48 —	17 —	35 —
1870	196	50 —	24 —	26 —
1871	207	55 —	19 —	26 —
1872	233	58 —	17 —	25 —

(*) Pour les premières de ces années surtout, on n'a pas de relevé complet, de là l'augmentation apparente du nombre des explosions. (Voir la note de la page 220.)

La loi sur les mines de houille, d'août 1872, prescrit (règlements généraux, art. 26) qu'un baromètre et un thermomètre soient placés au jour, en un lieu apparent, près de l'entrée des mines à grisou. (Voir *Annales des mines*, partie administrative, 7e série, t. II, p. 61.)

Les explosions, si elles sont en quelque sorte préparées par les circonstances météorologiques, doivent être, en outre, déterminées par quelque accident ou quelque imprudence, et l'introduction de ce second élément peut troubler notablement les recherches du genre de celle qui nous occupe. Un autre moyen de procéder dans ces recherches serait d'étudier, d'une manière continue, l'apparition du grisou dans les mines. Or la seconde règle générale de la loi de 1872 (*Annales*, volume cité, p. 55) prescrit que, dans les mines où l'on a reconnu l'existence de gaz inflam-

mable, on doit, pendant les douze mois qui suivent, faire visiter chaque jour les galeries et chantiers par un agent porteur d'une lampe de sûreté, avant d'y laisser descendre les ouvriers. Les résultats de cette inspection doivent être inscrits sur un registre spécial. Sur ce registre on trouvera donc indiqués les jours et les endroits où le grisou s'est montré dans une mine. Si l'on n'en examine qu'un, il ne paraît guère exister de relation entre les apparitions de gaz et les dépressions barométriques : souvent une chute de pression n'amène pas de dégagements de gaz; souvent, au contraire, ceux-ci se produisent par les temps les plus calmes. Mais si l'on dépouille les registres des mines de tout un district, on reconnaît qu'il y a, au contraire, une remarquable coïncidence entre ces deux phénomènes.

C'est ce que M. Galloway a fait pour les mines de houille et de fer (minerai des houillères) des environs de Glasgow pour l'année 1873. En éliminant d'abord les mines dans lesquelles le grisou était signalé tous les jours, celles dans lesquelles il ne l'était jamais, puis celles dont les registres étaient mal tenus ou évidemment erronés, il a choisi 35 mines dans lesquelles le grisou fait de temps en temps apparition; puis, ayant tracé la courbe barométrique (à Glasgow) comme dans les diagrammes que nous avons déjà vus, il a construit une seconde courbe dont les ordonnées sont proportionnelles chaque jour au nombre de mines (parmi les 35) où le grisou s'est montré. Je reproduis (*fig.* 4, Pl. V) une partie de ce diagramme pour les trois derniers mois de l'année. On voit que les deux courbes présentent, de la manière la plus frappante, les mêmes inflexions : le nombre des mines où le grisou se montre augmente lorsque le baromètre baisse. Les explosions sont également marquées sur ce diagramme comme sur les autres; seulement les chiffres indiquent le nombre de blessés qu'elles ont fait. Pendant le cours de cette année (1873), le grisou a paru une fois dans 15 des 35 mines (le 10 juin),

et il ne s'est pas passé de journée où il n'ait apparu au moins dans deux (*).

Si les baisses du baromètre augmentent beaucoup la proportion de grisou qui existe dans les mines et, par suite, causent beaucoup d'accidents, il ne paraît pas, d'ailleurs, que les terribles explosions qui font un grand nombre de victimes soient particulièrement en coïncidence avec les dépressions barométriques. Ces accidents surviennent bien parfois lorsque le baromètre est bas, mais souvent ils ne paraissent pas en relation avec les conditions météorologiques. Les poussières de charbon jouent sans doute un rôle important dans ces grands accidents. Un mélange d'air, de poussière de houille et de 0,89 p. 100 seulement de grisou est explosible à la température ordinaire (W. Galloway), et une aussi faible proportion de gaz ne marque nullement à la lampe. Dans une mine sèche, où le sol des galeries est couvert d'une poussière fine de charbon, si l'air renferme une petite quantité de gaz, il suffit d'une première explosion peu importante pour soulever des tourbillons de poussière et rendre alors l'atmosphère explosible. L'explosion pourra se propager de la sorte de proche en proche sur une grande étendue.

J'ai cherché à faire une étude analogue à celle que je viens de rapporter sur les explosions de grisou en France; à cet effet, j'ai recueilli des renseignements sur les différents accidents survenus pendant les années 1872—73—74—75, et j'ai construit les diagrammes barométriques et thermométriques à Lyon et à Douai. L'inspection de ces diagrammes montre d'abord que l'on peut se contenter de choisir ceux d'une seule ville, Lyon par exemple, pour la France entière; car les diagrammes de Lyon et

(*) Le même auteur a fait un travail analogue sur une série de mines du pays de Galles pendant l'année 1874, mais ce travail n'est pas encore publié (mars 1876).

de Douai présentent peu de différence, si l'on ne considère que la marche générale du baromètre et du thermomètre, comme on doit le faire dans l'espèce. J'ai reconnu qu'une proportion assez forte des explosions pouvait s'attribuer à des baisses du baromètre; mais les explosions de grisou sont beaucoup moins nombreuses chez nous que chez nos voisins (*), et de leur rareté même résulte l'impossibilité de les rattacher par un lien statistique aux dépressions barométriques. Les auteurs anglais avaient à leur disposition des éléments très-multipliés pour tracer leurs diagrammes. Nous n'avions point la même facilité pour tracer les nôtres, ce qui est heureux à un certain point de vue : il est vrai que la rareté des explosions s'explique par le moins grand nombre des exploitations. Je n'ai pu, d'ailleurs, me procurer le tableau des explosions survenues en Belgique et dans le bassin de Saarbrück, qu'on aurait pu réunir naturellement à celles de France.

Aussi je ne pense pas qu'il soit bien utile de publier les diagrammes que j'ai tracés, à l'imitation des auteurs anglais, pour la France; ces diagrammes n'apprendraient pas grand'chose de plus que les leurs, qui prouvent, d'une manière si évidente et si précise, l'existence de la loi qui lie les dégagements de grisou à l'état de l'atmosphère. Les exploitants de mines ne doivent pas perdre cette loi de vue; ils devraient tous, comme le font, d'ailleurs, beaucoup d'entre eux, comme le prescrit la loi en Angleterre, observer chaque jour le baromètre et le thermomètre, et, d'après leurs indications, augmenter au besoin l'énergie de la ventilation normale, redoubler de précautions, exercer une surveillance plus active sur les ouvriers. Nul doute qu'on ne pût arriver ainsi, sans beaucoup de peine, à réduire le

(*) 25 en 1873, dont 9 ayant entraîné mort d'homme, en tout 23 tués et 32 blessés; 27 en 1874, dont 9 également ayant entraîné mort d'homme, en tout 19 tués et 30 blessés, etc.

nombre des accidents. Il est telle précaution qu'on ne peut faire prendre chaque jour aux ouvriers; mais il est possible de veiller plus particulièrement, certains jours, à ce qu'ils exécutent fidèlement les mesures prescrites.

J'ai entre les mains un registre quotidien d'observations faites à la fosse d'Haveluy, de la compagnie d'Anzin, pendant les années 1869 à 1875. Ce registre donne la hauteur barométrique prise le matin, généralement vers 7 heures, la température, la situation du temps au jour et l'état de l'air dans les travaux du fond (pendant la nuit qui précède immédiatement l'observation du baromètre). On voit, d'après ces observations, que, près de trois fois sur quatre, lorsque la présence du gaz est signalée dans les travaux, il y a une baisse barométrique. Mais il s'agit là d'une mine dans laquelle le grisou ne fait que d'assez rares apparitions, et l'on arriverait sans doute à des coïncidences encore plus remarquables si l'on avait des observations simultanées de l'air dans un grand nombre de fosses, ainsi que M. Galloway l'a constaté dans les environs de Glasgow.

LÉGENDE DES FIGURES.

PLANCHE V.

Diagrammes météorologiques avec les explosions de grisou en Grande-Bretagne marquées à leur date.

Fig. 1, 2 et 3. — Le trait fort est la courbe barométrique, le trait délié, la courbe thermométrique, à l'observatoire de Stonyhurst, près de Preston, pendant les années 1871 (*fig.* 1) et 1872 (*fig.* 2) et pendant le mois d'octobre 1870 (*fig.* 3).

Les explosions qu'on peut attribuer à une dépression barométrique sont indiquées par des carrés;

Celles qu'on peut attribuer à une élévation de température sont indiquées par des cercles;

Celles qu'on ne peut rattacher à l'une ou à l'autre de ces causes sont indiquées par des triangles.

Un trait traversant le signe d'une explosion indique qu'elle a entraîné mort d'homme.

Les dimanches sont marqués par un trait à la base du diagramme.

Les chiffres indiquent les districts dans lesquels les explosions ont eu lieu, de la manière suivante :

1. Durham, partie méridionale.
2. Nord et Lancashire ou district de Manchester.
3. Sud-Ouest du Lancashire et Nord du pays de Galles.
4. Middland.
5. Nord du Staffordshire, Cheshire et Shropshire.
6. District du Sud-Ouest (Monmouthshire, etc.).
7. Sud de Staffordshire et Worcestershire.
8. Sud du pays de Galles.
9. Northumberland, Nord de Durham, Cumberland.
10. Yorkshire.
11. Écosse orientale.
12. Écosse occidentale.

Fig. 4. — Diagramme montrant l'apparition occasionnelle du grisou dans 35 mines des environs de Glasgow, pendant les trois derniers mois de 1873. Le trait fort est la courbe barométrique à Glasgow. Le cercle en trait délié a ses ordonnées proportionnelles au nombre de mines dans lesquelles le grisou a été signalé chaque jour (les dimanches exceptés). Les carrés indiquent les explosions, et les chiffres le nombre de blessés qu'elles ont faits (aucune n'a entraîné mort d'homme).

RÔLE DES POUSSIÈRES DE CHARBON
DANS
LES EXPLOSIONS DE GRISOU

Par M. W. GALLOWAY, inspecteur des mines en Grande-Bretagne (*).

(Traduction, par extraits, par M. Ed. SAUVAGE, ingénieur des mines.)

A la suite d'une explosion survenue dans la mine de houille de Campagnac, M. l'ingénieur des mines Vital a étudié le rôle qu'ont joué les poussières de charbon dans cet accident; il a publié un intéressant travail sur cette question dans les *Annales* (7e série, t. VII, p. 180). Une courte note, insérée dans le même volume, rappelait quelques observations plus anciennes de faits du même genre. En Angleterre, on ne s'était, pour ainsi dire, jamais occupé de cette influence des poussières de houille; il faut remonter jusqu'en 1845 pour trouver le passage suivant, écrit par Faraday et Lyell dans le *Philosophical magazine* « En réfléchissant à la grande surface sur laquelle se sont propagées les flammes, on ne peut supposer que le grisou ait été le seul combustible; mais la poussière de charbon, balayée par le courant d'air le long du mur, du toit et des parois des chantiers, a dû s'enflammer immédiatement et brûler, s'il y avait assez d'oxygène dans l'air pour en entretenir la combustion. Cette poussière était fixée aux boisages et aux parois de galeries, du côté tourné vers le siége de l'explosion, en quantité croissante, jusqu'à un certain point, à mesure qu'on s'en approchait. Elle formait

(*) Le mémoire de M. Galloway a été publié en 1876 dans les *Proceedings of the royal Society* (n° 168).

un dépôt épais de 0m,01 à 0m,02; c'était une sorte de croûte de coke friable; on y reconnaissait, à la loupe, la forme arrondie des grains de charbons brûlés; la composition de cette croûte était la même que celle de la poussière de houille de la mine, moins la plus grande partie ou même la totalité des matières volatiles. La flamme du grisou, qui soulevait cette poussière, a dû en dégager une grande quantité de gaz, et c'est seulement le manque d'air qui a empêché une partie du carbone de brûler aussi. »

Les recherches de M. W. Galloway l'ont amené aux conclusions suivantes : *Un mélange d'air, de grisou et de poussière de houille peut être explosible, bien que le mélange d'air et d'une seule des deux autres substances, en même proportion, ne le soit pas; — un mélange d'air pur et de poussière de houille n'est pas explosible.*

L'appareil employé pour les premières expériences, faites à la houillère de Llwynypia, dans le pays de Galles, consistait en un conduit horizontal en bois, long de 5m,50, haut de 0m,30 et large de 0m,15; ce conduit était fermé à l'une de ses extrémités et communiquait par l'autre avec la partie supérieure du puits de retour d'air, dans lequel s'exerçait l'aspiration d'un ventilateur. Un appendice vertical, long de 0m,60, large de 0m,10 dans les deux sens, s'ouvrait par-dessous près de l'extrémité fermée et servait à l'entrée de l'air. Une trémie, prolongée par un petit tube, permettait de faire tomber de la poudre de charbon dans cet appendice. Le gaz combustible était amené par un tuyau débouchant près de l'extrémité fermée. C'était le gaz qui se dégageait d'un fort soufflard de la mine. Près de l'autre extrémité du conduit étaient une fenêtre et une porte, et, tout au bout, un registre servant à régler la vitesse du courant d'air.

Les premiers essais ont porté sur l'air chargé de poussière de charbon seulement, sans grisou : une lampe à feu nu étant placée devant la fenêtre, on faisait arriver de la

poussière dans le tube d'entrée d'air ; les particules les plus lourdes tombaient à terre, mais les plus légères étaient entraînées par le courant et passaient sur la flamme de la lampe. Cette flamme semblait s'allonger quelque peu, mais sans jamais produire d'explosion, même avec des poussières bien séchées et criblées. Toutes les proportions possibles de poussière furent essayées infructueusement, jusqu'à ce qu'elle devînt assez épaisse pour éteindre la flamme.

Les houilles essayées étaient de deux espèces, composées comme il suit :

	N° 1. (Houille pour chaudières.)	N° 2. (Houille bitumineuse.)
Carbone	85,295	82,570
Hydrogène	5,040	5,400
Oxygène (par différence)	1,261	6,030
Azote	0,608	1,050
Soufre	0,692	0,800
Eau	0,614	0,670
Cendres	6,490	3,480
	100,000	100,000

En introduisant, en outre, dans le tube une petite quantité de grisou, on obtenait un mélange explosible : on plaçait d'abord une lampe de sûreté devant la fenêtre, et l'on réglait la quantité de gaz introduite de sorte que cette lampe ne *marquât* pas. On la remplaçait alors par une lampe à feu nu, et l'on introduisait la poussière de charbon : dès qu'elle touchait la flamme, une explosion se produisait et le conduit se remplissait d'une flamme rougeâtre, qui durait jusqu'à ce qu'on fît cesser l'admission de poussière de charbon. On avait soin de vérifier, un instant avant l'introduction de la poussière, qu'il n'existait pas de mélange gazeux explosible dans la partie supérieure du conduit, en élevant la lampe. Le gaz de la mine se composait d'environ

95 p. 100 de gaz des marais et de 3,60 p. 100 d'azote, et de petites quantités d'hydrure d'éthyle et d'anhydride carbonique (M. J. W. Thomas).

On peut faire aux conclusions de ces premières expériences l'objection suivante : la poussière de charbon, en tombant dans le tuyau par lequel l'air entrait, a pu diminuer la proportion d'air au point que le mélange d'air et de grisou seul soit devenu explosible. Aussi M. Galloway n'en est-il pas resté là. Il eut, sur ces entrefaites, l'occasion d'observer les effets d'une explosion dans la houillère de Llan, deux heures et demie seulement après l'accident. Toutes les parties de la mine voisines du théâtre de l'explosion, qui n'étaient pas balayées directement par des courants d'air, étaient remplies de fumée et de suie, au point qu'on ne voyait pas à trois pas devant soi. Le sol de la galerie, dans laquelle s'est produite l'explosion, était habituellement recouvert d'une couche de poussière de charbon sèche, sur toute sa longueur (120 mètres) ; les 45 derniers mètres de cette galerie et les chantiers qu'elle desservait n'étaient aérés que par diffusion; le grisou se dégageait parfois du charbon au bout de cette galerie et en deux autres points situés à une cinquantaine de mètres du premier, en quantité suffisante pour former des mélanges explosibles de faible volume. Néanmoins, une heure avant l'accident, on avait constaté qu'il n'existait aucune accumulation de gaz dans cette partie de la mine ; et comme il y avait des lampes à feu nu dans chaque chantier, un mélange explosible qui se serait formé dans l'un d'eux, n'aurait pu s'étendre dans les autres sans détoner. Il est donc certain qu'il n'a pu s'accumuler dans les travaux une grande masse de gaz pendant l'heure qui a précédé l'explosion.

D'autre part, il y avait sur les boisages, jusqu'à 300 mètres des travaux, des croûtes de coke indiquant l'existence d'une grande masse de matière combustible ; et cependant

les dégâts matériels étaient insignifiants. Les dépôts sur les boisages indiquent évidemment le sens suivant lequel l'air parcourait les galeries au moment où ils se sont formés. Pour concilier toutes les observations, on est conduit à supposer que l'explosion a commencé au fond de la galerie de niveau; que, dans cette galerie et dans deux branches descendantes qui s'en détachent, la croûte de coke s'est déposée pendant le mouvement de retour de l'air vers le centre d'explosion; qu'au contraire, dans les galeries qui aboutissent à l'entrée de la galerie de niveau, c'est pendant le mouvement d'expansion de l'air qu'elle s'est formée.

Toute autre hypothèse conduit à admettre l'existence de plusieurs centres d'explosion; si l'on supposait, par exemple, que tout le coke s'est déposé pendant le mouvement d'expansion de l'air, il faudrait trois de ces centres, et en des points où le gaz ne pouvait pas s'accumuler.

Tout semble prouver qu'un mélange détonant s'est formé au fond de la galerie, dans la partie qui n'est pas balayée par le courant d'air; que ce mélange s'est enflammé au contact de la flamme d'une lampe; que cette première explosion a soulevé un nuage de poussière qui a formé, avec l'air renfermant une petite proportion de grisou, un mélange faiblement explosible.

Pour établir cette nouvelle théorie, il était important de déterminer pour quelle proportion minima de grisou l'air, chargé de poussière de charbon, devient explosible. Dans ce but, M. Galloway a fait de nouvelles expériences. Il se servait toujours du même conduit horizontal; seulement l'air, au lieu d'y être aspiré, y était soufflé à un bout par un petit ventilateur, et l'autre bout était ouvert. Il y avait deux fenêtres avec la trémie entre elles; un registre formé de deux parties symétriques était placé près du point d'entrée de l'air.

Le ventilateur aspirait l'air à travers deux chambres su-

perposées, par deux ouvertures centrales (une sur chaque face), et le refoulait dans le conduit en bois à travers un ajutage tangentiel. Le grisou était amené par un tuyau qui débouchait immédiatement sous les ailes. Tout le gaz dégagé par le soufflard passait dans le ventilateur, et, comme il y avait toujours aspiration par les trous d'entrée d'air, ce gaz passait en totalité dans l'appareil. Donc, plus le courant d'air dans l'appareil était lent, plus la proportion de gaz qu'il renfermait était forte.

On répète d'abord avec cet appareil les premières expériences, et d'une manière plus concluante encore, en plaçant une lampe de sûreté derrière la première des fenêtres et augmentant la vitesse du courant jusqu'à ce que cette langue ne *marque* plus. On l'enlève alors et l'on dispose deux lampes à feu nu derrière les deux fenêtres, puis on fait tomber la poussière de charbon. Dès que le nuage de poussière atteint la lampe, il s'enflamme ; il se produit une flamme qui remonte le courant, ou bien qui remplit tout le conduit, selon la proportion de grisou. Pendant tout ce temps, la première lampe continue à brûler comme auparavant.

Pour étudier l'effet de proportions déterminées de gaz, on opère de la manière suivante : On place une lampe de sûreté derrière la première fenêtre, un anémomètre derrière la seconde, puis on étrangle le courant jusqu'à ce qu'il devienne explosible, et l'on en observe alors la vitesse. Cela fait, on ouvre le registre d'une quantité quelconque, on mesure la vitesse correspondante du courant, puis on remplace l'anémomètre par une lampe à feu nu, et l'on fait tomber la poussière de charbon.

Dans l'une des expériences, on trouva que le courant devenait explosible aux vitesses, mesurées à divers moments, de $47^{m},25$, $47^{m},55$ et $46^{m},60$ par minute. Un autre jour, c'était à la vitesse de $45^{m},75$. On expérimenta ensuite, dans le premier cas, les vitesses de $90^{m},25$, $100^{m},90$, $102^{m},70$, $134^{m},10$, $159^{m},40$ et $165^{m},50$ par minute ; et

dans le second, celles de 217^m,60, 246^m,30, 274^m,30 et 323^m,10. Dans tous ces essais, le mélange s'enflammait immédiatement lors de l'addition de la poussière de charbon et le conduit se remplissait de flammes, qui, au bout de quelques secondes, mettaient le feu aux parois. A une vitesse supérieure à celle de 323^m,10, mais non mesurée exactement, le mélange cessait de prendre feu.

D'autre part, on reconnut que le mélange de 1 volume de gaz et de 15 volumes d'air était inflammable, et que celui de 1 volume de gaz et de 16 volumes d'air ne l'était pas (à la température de 14°). Donc, lorsque le courant était explosible, dans la seconde série d'expériences, à la vitesse de 45^m,75, il renfermait 1 de gaz et 15 d'air. Pour une vitesse double, par exemple, comme la quantité absorbée de gaz restait la même, il y avait 1 de gaz et 31 d'air. A la vitesse de 323^m,10, il y avait 1 de gaz contre 112 d'air.

Il fallait cependant vérifier que, aux faibles vitesses, tout le gaz entrait bien dans l'appareil, et qu'aux grandes, le ventilateur n'exerçait pas une aspiration dans le tuyau de gaz, de nature à en augmenter le débit. A cet effet, ce tuyau de gaz, de 0^m,05 de diamètre, se terminait à 0^m,40 du ventilateur, et un autre tuyau, un peu plus petit, venait s'emboîter dedans, en y pénétrant de 0^m,30 environ. D'autre part, à 4^m,50 du ventilateur, on avait percé un petit trou dans le tuyau et l'on avait allumé le petit jet de gaz qui s'échappait par ce trou; la flamme indiquait très-exactement les variations de pression dans le tuyau.

Aux faibles vitesses, le gaz s'échappait à la jonction des deux tubes : on en reconnaissait la présence en approchant une lumière. Il fallait alors boucher quelques-uns des trous d'entrée d'air, jusqu'à ce que la flamme fût attirée entre les deux tubes; en même temps on observait le petit jet de gaz, pour ne pas aller trop loin. Aux grandes vitesses, tous les trous d'entrée d'air étaient débouchés, et, bien

qu'il y eût aspiration d'air entre les deux tuyaux, le petit jet de gaz ne changeait pas d'intensité.

La conclusion de ces expériences est qu'un air qui contient 0,9 seulement p. 100 de grisou peut former des mélanges explosibles avec la poussière de charbon. Or, jusqu'à présent, pour reconnaître le grisou dans l'air des mines, on observe la flamme d'une lampe de sûreté : si le grisou est en forte proportion, si le mélange est voisin du point où il serait détonant, il n'y a pas de doute possible; mais dès que cette proportion devient plus faible, il faut baisser la mèche de telle sorte qu'elle ne s'élève plus que de $0^m,003$ environ (la partie jaune de la flamme disparaît presque entièrement), et regarder si elle ne se surmonte pas d'une auréole bleuâtre. Cette auréole paraît produite par la combustion de la portion du mélange de gaz et d'air qui est suffisamment chauffée. Quand l'auréole est grande, il y a beaucoup de gaz; quand elle est petite, il y en a peu; enfin, quand il n'y en a pas du tout, on estime presque toujours qu'il n'y a pas de grisou dans l'air.

M. Galloway a étudié soigneusement l'aspect des auréoles pour des proportions données de gaz. Le gaz était mesuré à l'aide d'un *cylindre jaugeur*, puis mélangé à l'air dans un plus grand cylindre, dit *cylindre mélangeur*, divisé par deux diaphragmes percés de petits trous et gradué. La lampe était entourée d'un cylindre en verre, portant une échelle divisée; ce cylindre supportait une plaque de tôle percée d'un trou d'un centimètre de diamètre. Le mélange gazeux arrivait d'abord dans un petit réservoir, d'où il se dégageait par une série de trous disposés autour de la mèche.

Le cylindre mélangeur renfermant toujours une certaine quantité d'eau, on brassait les gaz en le retournant plusieurs fois. Le mélange était parfaitement homogène au bout de 40 retournements.

La mèche de la lampe était baissée de telle sorte que la

flamme se réduisit à un petit hémisphère bleuâtre de $0^m,006$ de diamètre, avec une petite pointe jaune au milieu ; on introduisait alors le mélange gazeux à la vitesse de 40 cent. cubes par seconde. On opérait dans une chambre au fond d'un des puits de la houillère de Llwynypia, et l'on éteignait toute autre lumière.

On a essayé successivement les mélanges de 1 volume de grisou avec 14, 15, 16, 18, 20, 25, 30, 40, 50 et 60 volumes d'air. La température, dans la chambre, était de 14°, le degré d'humidité était 79, et la pression barométrique $0^m,766$. Les mélanges essayés étaient certainement saturés d'humidité.

On obtint les résultats suivants :

1 de grisou et 14 d'air : mélange légèrement explosible.

1 et 15 : inflammation du mélange, qui brûlait au-dessus du trou de la plaque recouvrant la cheminée. En enfonçant une petite flamme dans ce trou jusqu'à 8 millimètres de profondeur, le mélange s'enflammait dans la cheminée, et une flamme bleue descendait, en deux ou trois secondes, du haut en bas de la cheminée, puis elle s'éteignait au fond.

1 et 16 : grande auréole bleuâtre, aiguë et tremblotante, haute de 85 millimètres.

1 et 18 : auréole pareille, mais plus fixe et haute de 50 millimètres.

1 et 20 : auréole de 33 millimètres, presque cylindrique jusqu'aux deux tiers de sa hauteur et bien pointue. Cette auréole était parfaitement fixe et plus distincte qu'aucune autre.

1 et 25 : auréole conique de 13 à 16 millimètres de hauteur.

1 et 30 : auréole conique de $9^{mm},5$.

1 et 40 : auréole conique de 8 à 6 millimètres.

1 et 50 : auréole très-légère de 3 millimètres de hauteur, dont le sommet semble tronqué.

1 et 60 : il était presque impossible de distinguer une auréole ; s'il y en avait une, ce que le directeur et deux ouvriers de la mine présents aux expériences considéraient comme fort douteux, c'était le rudiment d'un cône de $1^{mm},5$ de hauteur.

Les deux ouvriers (*firemen*) qui viennent d'être cités,

et dont la principale fonction est d'examiner tous les jours l'air des travaux, ont déclaré qu'ils considéreraient comme entièrement exempt de gaz l'air dans lequel brûlait la petite lampe à huile (air contenant 1/60e de grisou).

En élevant la mèche jusqu'à ce que la flamme eût 6 millimètres de hauteur, l'auréole cessait d'être visible dans tous les mélanges contenant moins de 1/25e de gaz. En levant encore davantage la mèche, l'auréole cessait d'être visible, excepté dans les mélanges explosibles.

En construisant une courbe ayant des abscisses proportionnelles au nombre de volumes d'air (pour 1 de grisou) et pour ordonnées les hauteurs des auréoles, on trouve une hyperbole équilatère.

On arrive donc aux résultats suivants :

1° Pour un mélange de 1 de grisou avec 60 d'air, les moyens généralement employés dans les mines pour reconnaître la présence du gaz ne donnent aucune indication ;

2° Un mélange de 1 de grisou avec 112 d'air peut devenir inflammable s'il se charge de poussière de houille.

Une explosion peut donc s'étendre dans les portions d'une mine où l'on ne soupçonnait nullement la présence du grisou.

Il n'est, d'ailleurs, pas très-rare de trouver, dans les chantiers et les galeries de retour d'air de mines considérées comme bien ventilées, des auréoles de 6 millimètres, avec une mèche fortement baissée. Le gaz se dégage uniformément dans la mine des fronts de taille, sans former d'accumulations explosibles. Ainsi M. Galloway a trouvé cette auréole dans l'air d'une galerie où passaient près de 1.000 mètres cubes d'air par minute. Supposons le volume d'air double, il n'y aura plus aucun indice de la présence du gaz. On pourra employer des lampes à feu nu tant que la poussière n'est pas soulevée : mais que ce fait se produise, et il pourra en résulter une très-grave explosion.

M. Galloway explique, par une hypothèse de ce genre, l'explosion de la houillère de Campagnac, en faisant remarquer que, bien qu'un épais nuage de poussière ait été soulevé sur une longueur de 130 à 150 mètres, les flammes ne paraissent pas s'être étendues sur plus de 7 mètres (ce qui indiquerait que la galerie en cul-de-sac renfermait des traces de gaz). Il trouve de même dans les circonstances de l'explosion dans la houillère de Llan une confirmation de cette théorie.

Au commencement de décembre 1876, trois grandes explosions se sont produites dans l'espace de trois jours, ce qui semble indiquer l'influence d'une cause commune. A ce moment, le baromètre était haut et le thermomètre très-bas, conditions météorologiques qui ne sont pas de nature à amener des accidents, si le grisou seul est en jeu. Mais si c'est la poussière de charbon qui cause des explosions, c'est au moment de la plus grande sécheresse dans la mine qu'elles doivent se produire, car, dans ce cas, cette poussière se soulève plus facilement et brûle mieux.

Par exemple, dans une mine sèche, la température dans les chantiers était de 21°, celle de l'air extérieur, de 15°, en été. L'air descend, à cette température de 15°, par un puits où il se sature d'humidité, puis il s'échauffe de plus en plus dans les travaux; il se charge en même temps d'humidité de plus en plus.

Quand il fait froid dehors, l'air, à la base du puits, est la température de 0° ou même en dessous, et il s'échauffe encore dans les travaux jusqu'à 21°. Dans ce cas ou bien il absorbe plus d'humidité (1/4 de kilogr. pour 30 mètres cubes environ pour qu'il soit saturé), ou bien il est plus sec en chaque point de son parcours.

On s'explique ainsi la fréquence des explosions dues à 'influence de la poussière de charbon, pendant les temps roids, et l'importance des explosions qui surviennent par ces temps froids. M. Galloway a tracé les courbes de la

température de l'air au fond des puits d'entrée d'air des mines de Ferndale et de Lwnynypia, où sont survenues, les 4 et 6 décembre 1875, les trois explosions dont nous avons déjà parlé. Ces dates coïncident avec la plus grande dépression de ces courbes.

En relevant les explosions survenues dans le pays de Galles pendant les 25 années 1851-75, M. Galloway a trouvé que les grandes explosions ayant fait au moins 19 victimes (20 est le chiffre qu'il avait d'abord choisi, mais il y a eu 4 explosions ayant fait chacune 19 victimes) se répartissaient ainsi qu'il suit entre les divers mois de l'année :

Octobre	4	32	Avril	3	17
Novembre	4		Mai	3	
Décembre	10		Juin	3	
Janvier	2		Juillet	5	
Février	6		Août	2	
Mars	6		Septembre	1	

La rareté des explosions en janvier tient peut-être à l'interruption des travaux à la fin de l'année. La fréquence de ces accidents en juillet est due à la chaleur extérieure, qui ralentit la ventilation. Les 3 explosions du mois de mai sont arrivées dans la même quinzaine en 1852.

Il est donc important, comme le recommande M. Vital, d'enlever autant que possible les poussières de charbons, d'arroser les galeries, et, de plus, d'augmenter encore la quantité d'air qui ventile les mines.

ÉTUDE

SUR

LES MOYENS DE PRÉVENIR LES GRANDES CATASTROPHES

CAUSÉES PAR LE GRISOU.

Par M. SOULARY, directeur de mines à Saint-Étienne.

Depuis l'origine de l'exploitation des mines de houille, le grisou est le fléau d'un certain nombre d'entre elles et, malgré les nombreuses tentatives faites et les progrès aujourd'hui réalisés dans l'exploitation, les catastrophes malheureusement trop fréquentes qui se produisent de nos jours prouvent que l'on est encore loin d'avoir atteint le but si désirable de la sécurité des travailleurs occupés à l'intérieur de ces exploitations.

Au commencement de ce siècle, l'exploitation des mines était, en France, à l'origine de l'art; les travaux peu développés, exécutés près de la surface en suivant l'affleurement des couches, se bornaient en général au traçage de quelques galeries; aussi, dans les mines à grisou, l'unique moyen de se débarrasser de ce gaz pouvait-il consister, dans le principe, à en provoquer chaque jour la combustion. Tous les matins, avant l'arrivée des autres ouvriers, l'un d'eux, un *pénitent*, comme on le désignait, armé d'une torche fixée à l'extrémité d'une perche, parcourait successivement les chantiers et faisait brûler le gaz accumulé pendant la nuit aux avancements. Parfois le *pénitent* payait de sa vie ce dangereux travail, parfois aussi des accidents avaient lieu pendant la journée et faisaient quelques victimes; il fallait renoncer à ce procédé primitif, qui d'ailleurs ne pouvait être compatible avec le moindre

développement de l'extraction et l'approfondissement croissant des travaux.

Mais une grande découverte avait eu lieu en Angleterre : la lampe Davy (perfectionnée plus tard par Mueseler et autres) fut introduite en France et permit le développement des travaux dans les mines à grisou; l'aérage naturel devenant insuffisant, on eut bientôt recours à l'aérage mécanique, et les inventeurs de diverses nations continuant à rivaliser, l'emploi des ventilateurs Lemielle, Fabry et Guibal finit par se généraliser dans nos principales exploitations.

Grâce aux progrès qui s'effectuaient dans les moyens d'extraction et à la consommation toujours croissante de la houille, les siéges d'exploitation se développèrent en se concentrant; on put arriver aux grandes productions de 100.000 et même 200.000 tonnes par an, par un seul puits; en même temps le nombre des ouvriers occupés à l'intérieur des travaux s'accrut non-seulement comme la production, mais dans une proportion beaucoup plus considérable, soit par le fait de l'emploi des méthodes rationnelles permettant un déhouillement complet (méthodes qui nécessitent l'emploi des remblais et plus de boisages) que par le fait de la réduction générale opérée dans la durée de la journée de travail. Dès lors des centaines d'ouvriers purent à la fois être occupés dans un siége d'exploitation, et les catastrophes dues au grisou, lorsqu'elles vinrent à se produire, prirent parfois d'effrayantes proportions.

En 1873, à la suite d'un concours ouvert en Angleterre et dû à la généreuse initiative de M. Edward Herman, membre du Parlement, qui avait été profondément ému par la fréquence des accidents de mines et notamment des explosions de grisou, différents mémoires traitant des précautions générales à prendre pour éviter le retour de ces accidents motivèrent des récompenses décernées par un jury compétent. Les mémoires des deux premiers lauréats, M. Wilfred Creswick et M. William Galloway, ont été

reproduits dans le *Bulletin de l'industrie minérale* (1875, t. IV, 2e liv.). Je n'aurai pas à revenir sur les mesures générales à prendre, qui sont exposées dans ces remarquables mémoires que tous les exploitants pourront consulter avec fruit. Mon cadre est plus restreint; je me propose de traiter d'une partie spéciale de cette vaste question, en étudiant et divulguant un *moyen pratique de prévenir en même temps les accumulations de grisou et les incendies dans les mines.* Le sujet est suffisamment important, car on n'oubliera pas que c'est à l'une de ces deux causes, sinon à leur réunion, que l'on peut attribuer la gravité des catastrophes qui se sont récemment produites.

De l'accumulation du grisou dans les travaux abandonnés et de son influence sur le courant d'air. — L'exploitation achevée sur une surface de 10 hectares (mesurés suivant l'inclinaison), dans une couche ayant seulement 5 mètres d'épaisseur, représenterait un cube de houille enlevé de 500.000 mètres cubes, quantité qui, dans certaines exploitations importantes, représente à peine l'extraction de cinq années; mais par suite du tassement du toit de la couche et par l'introduction des remblais dans l'exploitation, le vide primitif est considérablement réduit. Il résulte des observations faites à ce sujet dans plusieurs exploitations, et notamment de celles de M. Devillaine sur la grande couche de Montrambert, que le volume des remblais que l'on peut introduire dans les travaux d'une grande couche ne dépasse pas 50 p. 100 du volume du charbon extrait de la mine et que le tassement total peut être évalué à environ $\frac{1}{2}$ du cube de houille extrait.

Quoi qu'il en soit à cet égard, on conçoit que des remblais, même complets, laissent entre leurs interstices un certain vide qui peut être évalué de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$, selon la nature des matériaux employés. Par le tassement, ce vide se réduit insensiblement, et, après un certain nombre d'années, il finit par disparaître à peu près complétement;

toutefois si nous considérons l'ensemble des travaux remblayés depuis une période de cinq années et en admettant comme complétement tassés les travaux plus anciens (ce qui n'a généralement pas lieu), nous croyons être en dessous du chiffre réel, dans beaucoup de cas, en évaluant à $\frac{1}{10}$ du cube de la houille enlevée, pendant une période de cinq années, le vide restant dans les travaux par suite du tassement incomplet du toit et des remblais pendant cette période de temps. Ce vide pourra être d'autant plus considérable que les remblais auront été moins complets ou qu'ils auront été empruntés à des chambres d'éboulement ne communiquant pas au jour, car ces chambres auront formé d'immenses vides dans le toit de la couche.

J'admettrai donc, pour une exploitation étendue, la possibilité de l'existence d'un vide d'environ 50.000 mètres cubes par le fait du tassement incomplet du toit de la couche et des remblais exécutés dans les travaux abandonnés.

Si ces travaux existent à un niveau supérieur aux galeries d'aérage, si la couche dégage du grisou et que ce gaz ne trouve pas d'issue à la partie supérieure, les vides en question seront envahis peu à peu par ce gaz qui, en vertu de sa faible densité (0,56 par rapport à l'air) tend constamment à s'accumuler à la partie supérieure des excavations, il arrivera donc un moment où tous les vides existant dans ces travaux seront saturés d'hydrogène protocarboné et constitueront un véritable réservoir de grisou évalué, dans le cas ci-dessus, à 50.000 mètres cubes, chiffre qui, pour certaines exploitations, peut être beaucoup plus considérable.

Dans ces conditions, s'il se produit subitement un abaissement notable de la pression atmosphérique, tel que celui qui correspondrait, en une heure, à une variation barométrique de $0^{m},015$ (soit environ $\frac{2}{100}$ de la pression atmosphérique ordinaire), le volume du gaz tendant à varier

en raison inverse de la pression, nos 50.000 mètres cubes de gaz tendront à augmenter de $\frac{2}{100}$, soit de 1.000 mètres cubes ; s'ils ne trouvent pas d'autre issue, ces 1.000 mètres cubes de grisou seront refoulés dans les voies d'aérage et contribueront à vicier le courant d'air pendant le temps de leur écoulement. Or admettons que la ventilation de la mine soit effectuée à ce moment par un courant d'air de 10 mètres cubes par seconde, soit 3.600 mètres cubes à l'heure, la proportion de gaz provenant des travaux abandonnés sera, dans ce cas, $\frac{1}{36}$ du volume d'air débité dans le même temps, soit près de 30 p. 100 de ce volume. Si maintenant les sources de gaz provenant des chantiers en exploitation s'élèvent à ce moment à 4 p. 100 du volume de l'aérage (quantité encore insensible à la lampe de sûreté), le courant d'air général pourra arriver facilement à contenir 7 p. 100 de grisou (quantité suffisante pour rendre le mélange explosif), et cela d'autant plus facilement qu'une dépression barométrique tend toujours à augmenter le dégagement du gaz dans les chantiers en exploitation.

En résumé, on peut affirmer que *par le fait d'une dépression barométrique assez faible, mais se produisant en un temps relativement court, le gaz emprisonné dans les parties abandonnées et étendues d'une exploitation peut, à certains moments, rendre explosif un courant d'air qui, en temps ordinaire, n'indique pas trace de grisou à la lampe de sûreté.*

Qu'à un de ces moments, et par une circonstance quelconque, le courant d'air infecté vienne à recontrer une flamme sur son parcours (soit par l'ouverture d'une lampe, soit par l'explosion d'un coup de mine, soit enfin par un incendie spontané), une catastrophe aura sûrement lieu et pourra affecter toute l'étendue des travaux.

C'est à cette cause, croyons-nous, que l'on doit attribuer l'importance des effrayantes catastrophes qui ont eu lieu depuis quelques années et qui se sont produites dans cer-

taines mines, où cependant un aérage énergique ne laissait rien à désirer.

A l'appui de cette opinion, nous rappellerons que les grandes catastrophes, notamment celle du puits Jabin, ont généralement eu lieu au moment où se produisait une dépression barométrique (voir note additionnelle A, p. 259) et qu'elles ont affecté des exploitations dans lesquelles l'étendue des anciens travaux pouvait permettre l'accumulation d'une grande quantité de gaz.

Nous considérons donc comme d'une importance capitale, pour prévenir le retour de pareilles catastrophes, la nécessité de faciliter l'évacuation extérieure des réservoirs de gaz provenant des travaux abandonnés, réservoirs qui, en se déversant à certains moments dans le courant d'air de la mine, peuvent le rendre explosif par le simple fait d'une dépression barométrique; une élévation de la température, ou encore l'affaissement du toit de la couche sur une certaine étendue, sont autant de causes qui augmentent le danger.

Des moyens d'éviter l'accumulation du grisou par un drainage dans les anciens travaux. — Les couches de houille étant ordinairement inclinées sur l'horizon, on procède à leur exploitation par étages successifs communiquant avec les puits d'extraction et d'aérage au moyen de galeries au rocher dont la distance, limitant la hauteur d'un étage, est variable selon l'inclinaison des couches, la difficulté d'entretien des travaux, l'importance de l'exploitation, etc. Procédant du connu à l'inconnu, on est généralement conduit à exploiter d'abord les étages supérieurs et à approfondir successivement les puits ou à en creuser de nouveaux pour arriver finalement à l'exploitation de la partie la plus profonde du gisement. De là résulte une première méthode générale d'exploitation *par étages successifs de haut en bas.*

Le déhouillement de chaque étage s'opère ensuite par

diverses méthodes, au moyen de sous-étages ou galeries de niveau divisant l'étage en plusieurs parties; ces méthodes peuvent se classer en deux groupes comprenant : l'exploitation par sous-étages pris successivement de *haut en bas* ou de *bas en haut*, selon que l'exploitation de l'étage commencera par la partie supérieure ou par la partie inférieure. Dans le premier cas, le danger provenant de l'accumulation du grisou dans les parties supérieures exploitées sera généralement plus à craindre que dans le second. Quoi qu'il en soit d'ailleurs à cet égard, le système de *drainage* que je propose peut s'appliquer dans tous les cas, avec quelques modifications dans la méthode d'exploitation adoptée, quelle que soit d'ailleurs cette méthode.

Pour fixer les idées, supposons une couche de houille CE, inclinée sur l'horizon et représentée en coupe *fig.* 1, Pl. VI; admettons que AB soit le puits de descente d'air et que le courant d'air, après avoir parcouru le circuit des travaux, retourne à l'extérieur par un autre puits MN, situé à une distance plus ou moins grande du précédent. Les galeries à *travers bancs* BC, DE, rejoignant la couche, indiquent les niveaux de deux étages d'exploitation; nous admettrons que les travaux étant suffisamment concentrés, l'extraction n'a lieu qu'à un seul étage, c'est-à-dire se fait par une seule recette B, comme cela se pratique d'ordinaire dans les grandes exploitations (d'ailleurs le drainage pourrait aussi s'appliquer dans le cas où l'extraction aurait lieu simultanément à plusieurs étages).

Si la méthode d'exploitation employée est celle qui comporte les étages pris successivement *en descendant* avec exploitation de chaque étage de *haut en bas*, nous serons dans les conditions les plus favorables à l'accumulation du gaz dans les travaux. L'extraction ayant lieu par la recette B, la recette supérieure D est ordinairement fermée par un barrage ou une porte, afin d'empêcher le courant d'air de circuler dans les anciens travaux et de l'obliger à parcourir

le circuit de l'étage inférieur en exploitation. Dans ces conditions on exploite le nouvel étage en le divisant en sous-étages par des galeries de niveau F, G, H,... dont la distance est variable, mais est ordinairement comprise entre 15 et 30 mètres (selon l'inclinaison de la couche); des plans inclinés relient ces galeries à la galerie principale de roulage C, d'où le charbon est conduit à la recette B.

Si l'exploitation des sous-étages a lieu en descendant, l'enlèvement du massif EF précède celui du massif FG et ainsi de suite jusqu'au massif inférieur HC. Au fur et à mesure de l'enlèvement de ces massifs, les galeries supérieures E, F, G,... sont successivement remblayées et abandonnées; les communications de ces galeries avec les voies d'aérage finissant par être obstruées, le grisou s'accumule alors dans toutes les excavations qui existent au toit de la couche et dans les remblais jusqu'à ce que leur tassement soit complet. Ainsi se forment ces immenses réservoirs de grisou qui, dans certaines conditions, peuvent rendre une explosion désastreuse.

Si l'exploitation des sous-étages a lieu en sens inverse, c'est-à-dire en remontant, le gaz, tendant à s'élever, s'accumulera moins facilement dans les sous-étages pendant leur exploitation, mais on aura toujours à craindre les vides de l'étage supérieur et lorsqu'on passera à l'exploitation d'un étage inférieur, le gaz s'accumulera graduellement dans les remblais de l'étage dont l'exploitation vient d'être achevée: un réservoir de grisou tendra toujours à se former.

Nous pensons qu'il y a un moyen pratique de faciliter l'évacuation de ce gaz dans l'atmosphère, en ménageant dans les parties exploitées le drainage que nous allons indiquer.

Du drainage. — Au lieu de remblayer de la manière ordinaire ou de laisser s'ébouler les principales galeries de niveau E, F, G,... à mesure qu'elles deviennent inutiles à l'exploitation, on y établira des murs en pierres sèches ou

simplement on les remblayera avec des matériaux *durs* et en *gros fragments* (tels que grès houiller, cailloutis) laissant par conséquent entre eux un certain vide représentant environ $\frac{1}{3}$ de la section de ces galeries; des remontes ou plans inclinés remblayés de la même façon, en pierres sèches, établiront la communication des niveaux E, F, G,... avec le retour d'air supérieur; on fera ainsi un véritable drainage du grisou dans tous les dépilages de l'étage en exploitation, et en outre, si les anciens travaux supérieurs à cet étage dégagent du grisou, ce gaz ne pourra arriver dans les travaux inférieurs, puisqu'il sera recueilli à son passage par le drainage supérieur qui le conduira directement au retour d'air.

Il est bien entendu qu'au fur et à mesure de l'abandon des niveaux E, F, G,... on devra barrer soigneusement toute communication de ces niveaux avec les galeries d'arrivée de l'air, tant pour empêcher la déperdition du courant ventilateur que sa circulation dans les travaux dépilés, circulation qui, comme on le sait, tend à provoquer des incendies. A cet effet, lorsqu'on aura achevé contre les vieux travaux l'enlèvement d'un premier massif (n° 1, *fig.* 2), qui pourra avoir de 50 à 100 mètres de longueur en direction sur environ 30 mètres de largeur, enlèvement auquel on aura procédé par tranches successives remblayées, prises en remontant (si la puissance de la couche ne permet pas de l'enlever en une seule tranche), on remblayera en pierres sèches la partie *cab* du chemin d'arrivée d'air, alors situé au toit de la couche, et l'on établira au point *c* un barrage provisoire ou corroi de terre glaise, afin d'empêcher, autant que possible, l'entrée de l'air dans la galerie de drainage; si le courant d'air trouve d'autres issues dans la partie dépilée, sur le parcours *cd*, elles seront également bouchées par des placages en terre glaise. On procédera ensuite successivement ou simultanément à l'enlèvement des massifs n°s 2 et 5. Lorsque le massif n° 2 sera enlevé, on conti-

nuera le drainage en pierres sèches de *e* en *c*, on enlèvera le barrage *c* pour le transporter au point *e* et l'on fera le drainage de la galerie de niveau *cd*. De même, lorsqu'on aura enlevé le massif n° 5 et les suivants, on prolongera successivement le drainage dans les galeries de niveau E, F, G,... et les barrages seront finalement réportés en *f*, *g*, dans la galerie de direction inférieure servant à l'arrivée de l'air, tandis que le grisou ne pourra s'accumuler en grande quantité dans les dépilages, puisque son évacuation sera facilitée par le drainage et que le gaz trouvera son écoulement continu par la galerie de retour d'air E.

On pourrait de même suivre la marche inverse, en enlevant les piliers n°s 3, 2, 1, en remontant. Dans tous les cas, il sera convenable de laisser pour la fin le pilier n° 4 qui protége la galerie de roulage.

Si la couche en exploitation n'est pas sujette aux incendies, le simple drainage que nous venons d'indiquer pourra être suffisant, c'est-à-dire que dans certaines exploitations (notamment dans celles où le dégagement de grisou n'est pas très-abondant), il n'y aurait pas un grand inconvénient à faire déverser d'une manière continue, dans la galerie et dans le puits de retour d'air, le supplément de gaz provenant des dépilages. On sait, en effet, que la majeure partie du grisou d'une couche se dégage dans les chantiers ouverts au moment de l'exploitation ; on a remarqué que le dégagement du gaz, parfois très-grand dans les galeries en traçage, va progressivement en diminuant dans les dépilages à mesure que la couche est plus recoupée. En général, la proportion du gaz se produisant dans les vieux travaux est faible, relativement à la quantité totale fournie par l'exploitation ; on peut conclure de ces faits que, dans une mine suffisamment aérée et non sujette aux incendies, il n'y aurait souvent pas d'inconvénient sérieux à rejeter d'une manière continue dans le courant d'air le gaz provenant du drainage des anciens travaux dépilés.

Dispositions à employer pour les couches sujettes aux incendies. — Malheureusement beaucoup de couches à grisou, notamment les couches puissantes, sont sujettes à des incendies provenant de l'échauffement et de l'inflammation spontanée des matières combustibles qui restent enfouies dans les vieux travaux; ces incendies entravent l'exploitation, en augmentent le danger, et causent souvent la perte d'une partie notable de la richesse minérale.

Il est évident que dans une mine incendiée ou sujette à incendie, il y aurait de graves inconvénients à laisser évacuer dans le retour d'air général les gaz provenant des anciens dépilages, ces gaz pouvant alors renfermer, outre le grisou, des quantités notables d'autres gaz méphitiques (acide carbonique, oxyde de carbone, hydrocarbures); à certains moments, le retour d'air, envahi par ces gaz, pourrait devenir inaccessible et l'exploitation être compromise. Dans ce cas, nous devons compléter le système de drainage par une disposion additionnelle qui permettra l'évacuation extérieure des gaz provenant des travaux dépilés, en évitant leur mélange avec le retour d'air général.

Galeries de directions complémentaires. — Comme disposition complémentaires, nous proposerons l'ouverture, à chaque étage, d'une nouvelle galerie de direction exécutée, s'il est possible, dans une petite couche qui serait située à proximité du toit ou du mur, et, dans le cas contraire, au rocher du toit ou du mur (de préférence au mur afin d'être à l'abri des mouvements de l'exploitation). Ces galeries au rocher indiquées en R et R′ (*fig.* 1) serviront en même temps à l'aérage général, ainsi qu'au roulage de la houille et des remblais; elles seront toujours à l'abri des incendies et permettront de les combattre facilement par l'installation de barrages solides interceptant complétement l'arrivée de l'air dans les anciens dépilages.

L'emploi des galeries de direction au rocher, comme moyen efficace de prévenir et de combattre les incendies,

n'est d'ailleurs pas nouveau; d'ancienne date on en a reconnu les avantages aux mines du Creusot, où la méthode a été appliquée pour la première fois par M. Aumont, alors ingénieur principal de cette exploitation, et où elle a, je crois, été suivie depuis cette époque (*). J'ai eu moi-même l'occasion (de 1857 à 1860) de faire l'essai d'une galerie de ce genre dans une exploitation dangereuse, tant à cause de l'abondance du grisou que de la facilité des incendies (au puits Hippolyte de la Tardiverie, division des houillères de Saint-Étienne); le résultat en a été très-satisfaisant et pendant cette période de l'exploitation les incendies ont pu être évités.

J'ajouterai que dans une mine où les galeries principales d'aérage seront faites au rocher, on aura beaucoup moins à craindre, en cas d'explosion locale, l'influence des poussières charbonneuses qui, dans plusieurs catastrophes, paraissent avoir joué un certain rôle en servant de portefeu d'une région à l'autre de l'exploitation.

Nous allons maintenant indiquer comment l'emploi de ces galeries au rocher, qui est déjà à recommander dans toutes les mines sujettes aux incendies, pourra compléter notre système de drainage en permettant isolément l'évacuation au dehors des gaz accumulés dans les vieux travaux.

Soit P le puits de retour d'air de la mine (voir *fig.* 3); EE′ représentera la galerie de direction exécutée dans la couche et correspondant à l'étage supérieur E de la *fig.* 1, CC′ sera de même la galerie de direction inférieure exécutée dans la couche et correspondant à l'étage C (*fig.* 1). Le puits d'extraction peut, d'ailleurs, être indifféremment le puits de descente ou le puits de retour d'air, dans le cas où l'aérage a lieu naturellement (c'est-à-dire sans ventilateur), mais il ne peut être que le puits de descente dans le cas d'un ventilateur aspirant, et le puits de retour si au

(*) Voir note B, p. 260.

contraire le ventilateur est refoulant; c'est-à-dire que lorsque l'aérage a lieu mécaniquement le puits d'extraction est naturellement désigné par celui sur lequel le ventilateur n'est pas installé. Quel que soit, d'ailleurs, le système d'aérage adopté, P étant, comme nous l'avons supposé, le puits de retour d'air, on procédera d'abord à l'enlèvement des deux massifs M et M' les plus rapprochés de ce puits en opérant, soit de haut en bas, soit de bas en haut, comme il a été expliqué à l'égard de la *fig.* 2, et en ménageant dans ces massifs dépilés les drainages en pierres sèches dont il a été question précédemment. En même temps que l'on enlèvera ces massifs, ou mieux avant de procéder à leur exploitation, on aura exécuté au niveau de chaque étage et hors de la couche, à une certaine distance que nous supposons au mur, deux tronçons de galeries RR, R'R', mis en communication par des recoupes de niveau RC, RC', R'E, R'E', avec les galeries de direction exécutées dans la couche; la galerie R'R' qui doit servir au retour d'air communiquera avec le travers-banc OP par une petite recoupe, et, dans le cas où le puits P serait utilisé pour l'extraction, la galerie au rocher RR serait naturellement en communication avec la recette inférieure.

Une fois les massifs M et M' enlevés et les galeries dans la couche drainées comme l'indiquent les hachures, soit la galerie inférieure drainée de C à C' et la galerie supérieure de E à E' (sauf au passage de la galerie à travers bancs), on installera dans ces galeries des barrages provisoires indiqués *fig.* 3, à proximité des quatre points susmentionnés; deux autres barrages, ceux-là définitifs (en maçonnerie de 1 mètre d'épaisseur), seront construits dans la position indiquée de chaque côté de la recoupe O et dans ces derniers on engagera les deux embranchements coudés d'un tuyau collecteur en tôle (représenté *fig.* 4) à grande section ellipsoïdale ou rectangulaire, lequel, suivant le toit de la galerie à travers-bancs OP, s'élèvera jus-

qu'au-dessus de l'orifice du puits de sortie d'air P. Chacune des branches coudées sera munie d'un registre ou papillon *p*, *p'* de façon à pouvoir à volonté interrompre à droite ou à gauche la communication des dépilages avec le tuyau collecteur.

En admettant que ce tuyau ait une section de $0^m,30$ (soit 1 mètre sur $0^m,30$, dimensions peu gênantes dans la galerie et le puits de retour d'air), cette section pourra permettre l'écoulement de $1^m,50$ de gaz avec une vitesse de 5 mètres par seconde (vitesse qui correspondrait à une dépression barométrique de moins de $0^m,001$ si le gaz évacué était de l'hydrogène protocarboné pur) et représentera dans ce cas un débit d'environ 5.400 mètres cubes à l'heure, quantité qui nous paraît devoir être largement suffisante.

Les choses étant ainsi installées, on conçoit que les massifs dépilés M, M', seront parfaitement isolés du courant d'air de la mine; celui-ci fera dès lors son circuit par les tronçons de galeries RR, R'R' et les recoupes correspondant à leurs extrémités, sans avoir aucune communication avec les dépilages.

Que se passera-t-il d'autre part dans ces dépilages complétement isolés du courant d'air et n'ayant d'autre communication avec l'atmosphère que le tuyau collecteur aboutissant à la surface? Tout mouvement ayant cessé, les gaz étant en équilibre tendront à se classer par ordre de densités, et, à l'aide des galeries drainées, le grisou s'élèvera vers la partie supérieure EE' tandis que l'acide carbonique, beaucoup plus lourd, gagnera peu à peu la partie inférieure et son niveau dans les dépilages s'élèvera progressivement.

Tant que la tension des gaz contenus dans les dépilages MM' ne dépassera pas la pression atmosphérique, il n'y aura pas d'évacuation sensible; mais qu'à un moment donné l'équilibre soit rompu, soit par une diminution de

la pression atmosphérique extérieure, soit par une augmentation de tension du gaz provenant d'une cause quelconque (qui peut être due à de nouveaux dégagements ou à l'affaissement du toit de la couche, ou enfin à l'échauffement des anciens travaux), immédiatement un écoulement du grisou se produira à l'extérieur par le tuyau collecteur et ce dégagement continuera jusqu'à ce que les conditions d'équilibre soient rétablies.

Si, au contraire, il se produit une variation barométrique correspondant à une augmentation de la pression atmosphérique et que celle-ci devienne plus considérable que la tension des gaz enfermés dans les dépilages MM′, l'effet contraire tendra à se produire, l'écoulement gazeux cessera d'avoir lieu à l'extérieur, tandis que l'air atmosphérique tendra à s'introduire par le tuyau collecteur pour rétablir l'équilibre de la tension du gaz avec celle de l'atmosphère.

Or, comme il importe, pour éviter les incendies ou les éteindre s'il en existe, d'empêcher autant que possible toute rentrée d'air dans les travaux dépilés, notre disposition serait incomplète et laisserait à désirer si l'on ne pouvait éviter ce retour d'air; mais on peut le prévenir.

Calotte à clapets. — A cet effet, l'extrémité supérieure du tuyau collecteur débouchant dans l'atmosphère pourra être terminée par une calotte indiquée *fig.* 5, et munie de deux clapets à charnières C, C′, opposés l'un à l'autre (afin d'éviter l'influence des vents), dont le poids sera en grande partie équilibré par des contre-poids x, x', et dont les siéges, légèrement inclinés sur la verticale et bien dressés, seront munis d'une garniture en caoutchouc afin de rendre la fermeture hermétique.

A l'aide de ces simples clapets, toute rentrée d'air par le tuyau collecteur deviendra impossible. En effet, à l'état d'équilibre, les clapets tendront à demeurer fermés par leur léger excédant de poids; si une dépression barome-

trique se produit, la tension des gaz accumulés dans les anciens dépilages dépassant la pression de l'atmosphère, les clapets seront soulevés par le gaz lui-même qui s'écoulera alors à l'extérieur jusqu'au rétablissement de l'équilibre; si, au contraire, la pression atmosphérique augmente et dépasse la tension du gaz des vieux travaux, les clapets se refermeront immédiatement et la différence de pression tendra à les tenir appuyés sur leurs siéges.

Il sera convenable de garnir les orifices de sortie de gaz de treillis métallique *t*, *t'* (*fig.* 5), tant pour empêcher l'inflammation fortuite du courant gazeux par le voisinage d'une lampe que pour éviter aussi l'introduction d'obstacles dans le tuyau.

Il sera utile également d'installer en un point quelconque du collecteur un manomètre donnant à chaque instant la différence de tension du gaz et de l'atmosphère.

Continuation de l'exploitation. — Ces explications données, il nous reste à indiquer comment se continuera l'exploitation.

Les massifs ou compartiments M, M', étant enlevés et les deux galeries au mur prolongées d'une longueur suffisante, on procédera, ainsi que pour les précédents, à l'enlèvement des compartiments N, N', en continuant les drainages nécessaires; mais on aura le soin de laisser exister un petit pilier de charbon EC, E'C', de façon à éviter toute communication d'air avec les anciens dépilages pendant l'exploitation des grands massifs à la suite. Toutefois, lorsque les massifs N et N' seront exploités, il faudra aussi enlever les piliers EC, E'C', et, quelle que soit l'activité que l'on apporte à cet enlèvement, il se passera un temps plus ou moins long pendant lequel le courant d'air pourrait avoir issue dans les anciens dépilages pour retourner à la surface par le tuyau collecteur.

Pour éviter cet inconvénient, lorsqu'on procédera, je suppose, à l'enlèvement du pilier EC, on fermera le registre

ou papillon *p* indiqué *fig.* 4; pendant ce temps, à la vérité, le gaz enfermé dans le compartiment M ne trouvera pas d'écoulement direct à l'extérieur, et l'on sera dans le cas d'une exploitation ordinaire, avec cette différence, qu'à certains moments on pourra, si c'est reconnu utile, ouvrir un peu le registre afin de laisser évacuer le gaz. Quoi qu'il en soit, les rentrées d'air dans les dépilages seront plus fréquentes pendant l'enlèvement des petits piliers, tels que EC, que pendant le dépilage des grands massifs; mais une fois le pilier EC enlevé, toute entrée d'air sera de nouveau interrompue; le barrage E étant reculé en F et le barrage C en D, des barrages définitifs seront alors établis dans les recoupes au rocher R'E, RC devenues inutiles, et le registre *p* étant ouvert de nouveau, le drainage continuera à fonctionner comme précédemment.

En continuant à opérer de la même manière, on enlèvera donc tous les massifs ou grands compartiments isolés qui auront servi à diviser l'étage en exploitation. Lorsqu'on en arrivera plus tard à passer à l'exploitation d'un étage inférieur, la même marche sera suivie; il suffira de prolonger jusqu'au nouvel étage la colonne du tuyau collecteur pour opérer de même qu'à la recette supérieure.

Nous ajouterons maintenant que si, pour faciliter l'explication théorique du système d'exploitation, nous avons supposé que l'on procéderait d'abord à l'enlèvement des massifs M et M', puis à celui des massifs N et N', rien ne s'oppose à ce qu'il en soit autrement dans la pratique; ces massifs pourront être exploités simultanément, le système proposé ne tendra donc nullement à une diminution de production et sera parfaitement compatible avec les grandes extractions.

Conclusions.—Dans l'application, les détails pourront être modifiés plus ou moins, selon l'allure, la puissance de la couche et les diverses conditions locales d'où dépendront

notamment la distance des étages, les dimensions des compartiments, etc.; ces diverses questions seront résolues dans chaque cas particulier par les ingénieurs de l'exploitation. Nous ne pouvons, quant à présent, indiquer qu'une méthode générale qui n'a rien d'absolu dans les détails et dont les principes se résument comme suit, *en ce qui concerne les mines à grisou et sujettes aux incendies :*

Exécution d'une galerie complémentaire à chaque étage, galerie à l'abri des incendies, étant exécutée soit au rocher, soit dans un petit banc de houille lorsqu'on en aura la faculté.

Drainages en pierres sèches faisant communiquer les vieux travaux avec l'extérieur de la mine au moyen d'un tuyau collecteur disposé de façon à éviter les retours d'air et évacuant automatiquement le gaz par intermittence, notamment aux moments où des dépressions barométriques se produisent, c'est-à-dire *aux moments les plus dangereux d'une mine à grisou.*

Nous croyons que, par l'emploi de la méthode qui vient d'être décrite, on obtiendra deux résultats certains :

1° La suppression, aussi complète que possible, des amoncellements de grisou dans les vieux travaux, cause évidente, selon nous, de la gravité des catastrophes qui se sont produites dans plusieurs houillères dont les chantiers étaient parfaitement aérés, et notamment dans la catastrophe récente du puits Jabin;

2° La diminution considérable des chances d'incendie et la facilité de les combattre par leur isolement complet du courant d'air et des compartiments en exploitation.

Nous soumettons avec confiance notre projet à l'appréciation de tous les hommes compétents; nous recevrons avec reconnaissance leurs observations, ainsi que le concours de leurs lumières; et si, à la suite d'une enquête, il est reconnu qu'un progrès sérieux peut être ainsi réalisé,

nous ne doutons pas que les grandes compagnies houillères ne prennent bientôt l'initiative de l'exécution.

D'ailleurs, les dépenses qu'entraînerait cette innovation ne sont pas excessives et grèveraient, au pis-aller, de quelques centimes le prix de revient du quintal métrique de houille (dans le cas le plus coûteux); ce n'est certainement pas un sacrifice pareil qui fera repousser notre projet par les compagnies houillères, car, outre la question humanitaire, d'immenses intérêts, bien compris, militeraient en faveur de son adoption.

Saint-Étienne, le 15 février 1876.

NOTE A.

Extrait du registre des observations faites par M. Bartésago, opticien à Saint-Étienne.

Février 1876.

DATES.	HAUTEUR barométrique à 10 h. du matin.	TEMPS.	TEMPÉRATURES : 7 h. du matin.	2 h. du soir.	9 h. du soir.
	millim.				
1	728	Beau.	— 1° 1/2	+ 3°	— 2°
2	728	d°	— 2	+ 7	+ 2
3	729	d°	+ 2	+ 6	+ 2
4	729	d°	0	+ 4	+ 1 1/2
5	716	Pluie.	— 1 1/2	— 1	— 2
6	712	Neige.	— 2	— 1	— 2

D'après ces observations, une dépression barométrique de $0^m,013$ est constatée du 4 au 5 février ; en outre, d'après une remarque certaine de l'observateur, la dépression se serait produite le 4, à deux heures du soir ; elle a d'ailleurs amené la pluie et la neige dans la soirée du 4, à Saint-Étienne. La catastrophe du puits Jabin, qui a eu lieu le même jour, vers 3 heures du soir, a donc correspondu à une brusque dépression barométrique.

NOTE B.

Je reçois de M. de Biauzat, ingénieur principal des houillères du Creusot, une lettre en date du 23 février, d'où il résulte que dans cette exploitation on a toujours respecté le principe de la méthode qui y a été introduite en 1840 par M. Aumont, principe consistant *à ne jamais conserver dans la couche ou dans les remblais aucune galerie d'aérage ou de roulage, dont tout le réseau doit être essentiellement mainteau au rocher et loin de la couche.*

Selon l'expression de M. de Biauzat, c'est grâce à l'établissement de cet excellent système que l'on a évité, à cette mine, une *ruine complète.*

La puissante couche du Creusot, très-sujette aux incendies, est presque verticale. Par suite de circonstances locales (notamment l'existence de sources abondantes au mur), tous les puits d'extraction, galeries de direction *au rocher*, plans inclinés, écluses sèches, etc..., sont creusés dans les roches du toit (bien que leur position au mur eût été préférable au point de vue de leur stabilité).

Actuellement et d'une manière générale, la couche est divisée en étages de 20 mètres de hauteur communiquant directement avec le puits d'extraction; la recette qui communique à l'étage supérieur déhouillé sert à l'arrivée des remblais et la recette inférieure à l'extraction.

Chaque étage de 20 mètres est divisé en trois sous-étages de hauteur égale, pris successivement de haut en bas, mais exploités chacun au moyen de trois tranches de 2 mètres de hauteur, enlevées successivement de bas en haut.

Des plans inclinés, exécutés dans les roches du toit, mettent en communication (tous les 300 mètres environ) les sous-étages intermédiaires avec les galeries d'allongement au rocher (situées au niveau des recettes) et servent, les uns à l'arrivée des remblais de la recette supérieure, les autres au transport du charbon à la recette inférieure.

Saint-Étienne, le 25 février 1876.

NOTE

SUR

LA PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS DE ZINC

A AMMEBERG (SUÈDE)

Par M. OPPERMANN, ingénieur des mines.

La mine de blende d'Ammeberg est située à 12 kilomètres au nord-est des bords du lac Veter, aux environs de la petite ville d'Askersund. La préparation mécanique est installée près du lac, à côté d'une chute d'eau utilisée comme force motrice, et elle est reliée au siége de l'exploitation par un chemin de fer à section large, construit spécialement pour le transport du minerai. Tous ces établissements appartiennent à la société de la Vieille-Montagne.

La préparation mécanique est montée sur un pied tout nouveau; son matériel, après avoir subi plusieurs transformations, est probablement arrivé à sa forme définitive, et les quelques instruments imparfaits qui subsistent encore des anciennes expériences doivent être bientôt tous remplacés par les appareils les plus récents, qui se prêtent admirablement bien au traitement des minerais d'Ammeberg. Tous ces appareils sont disposés, relativement les uns aux autres, dans l'ordre le plus rationnel, pour permettre de rendre le mouvement des matières continu et presque automatique.

Les nombreux essais qui ont été faits dans cette usine ont conduit les ingénieurs à adopter l'installation actuelle, sans doute définitive, qui est certainement l'une des plus belles et des plus intéressantes que l'on puisse voir. L'ingénieur en chef de la préparation mécanique, M. Nicolin,

m'a donné avec beaucoup d'obligeance tous les renseignements qui pouvaient m'être utiles pour la description qui va suivre.

Minerai. — Le gisement de blende d'Ammeberg se compose de lentilles, assez irrégulières de forme et d'allure, qui peuvent avoir jusqu'à 13 mètres d'épaisseur et plus de 200 de longueur. Elles sont intercalées à ces schistes gneissiques de la période laurentienne qui règnent sur la plus grande partie de la Suède et portent les noms d'*Hälleflinta*, d'*Eurite*, etc. Le minerai ne se présente lui-même que comme une modification de ces schistes, car il est composé d'un mélange très-compacte de grains excessivement fins de feldspath, de quartz et de blende : c'est comme un gneiss dans lequel la blende aurait remplacé le mica; l'apparence physique est la même, et les analyses chimiques l'ont vérifié.

Cette imprégnation de blende dans la roche peut être plus ou moins riche. En certains endroits, la blende domine au point de former une roche d'une teneur en zinc de 40 p. 100; on a quelques échantillons qui renferment jusqu'à 53 p. 100 de zinc; quand la teneur en zinc est inférieure à 20 p. 100, on ne peut plus exploiter la roche avec bénéfice. La blende est toujours accompagnée d'un peu de galène; ce dernier minerai a été rencontré à l'état compacte en deux points : à l'un d'eux, il formait un amas lenticulaire parallèle à une bande de blende et très-rapproché de cette bande; il avait jusqu'à 3 mètres de puissance. Telles sont, en résumé, les principales circonstances du gisement dont on avait à tenir compte dans la préparation mécanique.

Le minerai, après un scheidage grossier dans l'intérieur de la mine, qui enlève du tout-venant environ $\frac{1}{3}$ de stériles, est extrait par les deux puits Vilain XIV et Sinçay, auprès desquels sont installés les ateliers de scheidage.

Scheidage au puits Vilain XIV. — L'extraction au puits Vilain XIV donne deux qualités de minerai : minerai pauvre et minerai en roche.

Les wagons chargés de minerai pauvre sont culbutés au-dessus d'un concasseur américain, qui ne livre que des morceaux tout au plus gros comme le poing et qui laisse tomber les matières broyées sur une grille séparant les gros des menus. Ceux-ci sont expédiés directement à la laverie. Le refus de la grille est trié sur une table ronde à deux étages, animée d'un mouvement de rotation et autour de laquelle sont rangés quatre ouvriers, femmes et enfants, qui examinent les fragments qui passent devant eux, les cassent au besoin avec un marteau et les classent en deux catégories. La couronne supérieure de la table est une plaque en fonte très-épaisse; c'est sur elle que tombe le refus de la grille, c'est sur elle que les ouvriers cassent les morceaux douteux. Les stériles sont jetés à l'intérieur de la couronne et tombent sur l'étage inférieur. Deux règles fixes, obliques aux rayons de la table et disposées contre la surface des deux plateaux, conduisent jusqu'au bord les riches et les stériles et les font tomber dans leurs wagons respectifs; les uns vont aux haldes, les autres aux fours à étonner. On enlève ainsi 10 à 20 p. 100 de stériles.

Les wagons chargés de minerai en roche sont culbutés sur une grille qui sépare celui-ci en gros et en menus. Les premiers sont triés à la main, les seconds passent à un concasseur d'où ils tombent sur une roue élévatrice dont la couronne extérieure est formée par une tôle percée de trous de $0^{m},018$ de diamètre. Les grains les plus fins sont expédiés à la laverie avec les menus du minerai pauvre. Le refus, débourbé par de l'eau chaude qui coule par des tuyaux à mille trous, est conduit, par de petites cloisons hélicoïdales disposées sur la surface du trommel, dans des godets qui l'enlèvent et le répandent sur une aire où travaillent une vingtaine d'enfants et où il est séparé par eux

en riches et stériles. On enlève ainsi de la masse 15 p. 100 de stériles. Une machine à vapeur de la force de 20 chevaux met en mouvement les divers appareils de cet atelier.

On obtient donc quatre qualités de minerai :

Provenant du minerai en roche.	Blende en roche. Menus riches n° I.
Et du minerai pauvre.	Blendeux en roche. Menus pauvres n° II.

Scheidage au puits Sinçay.— Jusqu'à ce jour, le scheidage s'est fait à la main au puits Sinçay, mais on doit y installer un atelier spécial, semblable à celui du puits Vilain XIV, sauf une légère différence provenant de ce que le minerai contient souvent des fragments de galène, qu'on peut avantageusement séparer à cette première opération. On disposera deux tables tournantes, toutes deux à trois étages.

L'ouverture de la couronne supérieure sera divisée en deux par une cloison concentrique; la partie centrale communiquera avec le plateau inférieur et la partie annulaire avec le plateau intermédiaire. Le premier recevra les fragments riches en galène et le second les stériles. Des racloirs fixes et obliques aux rayons feront tomber ces produits dans des wagons. Le refus de la table restant sur la couronne supérieure sera éliminé de la même manière et passera à la seconde table pour y être partagé en trois classes: blende en roche, blendeux en roche et stériles. Le scheidage s'achèvera de la même manière qu'à l'atelier du puits Vilain XIV; mais on obtiendra, outre les quatre catégories de minerai qui en sortent, les deux suivantes :

Galène en roche.
Menus plombifères.

La production annuelle et les teneurs respectives de ces six catégories sont approximativement les suivantes :

MINERAIS.	TENEUR.	PRODUCTION NOUVELLE.
		tonnes
Blende en roche.	Zinc, 40 p. 100.	6,000
Blendeux en roche.	Zinc, 24 à 25 p. 100.	30,000
Menus riches n° I.	Zinc, 30 p. 100.	1,500
Menus pauvres n° II.	Zinc, 25 p. 100.	700
Galène en roche.	Plomb, 20 p. 100.	 2,000
Menus plombifères.	Plomb, 25 p. 100.	

La blende en roche est expédiée aux usines de la Vieille-Montagne, et la galène en roche en Allemagne. Le reste doit être enrichi avant de passer au traitement métallurgique; mais, si l'on se reporte à ce qui a été dit sur la nature du minerai, on doit prévoir que la préparation mécanique ne peut s'effectuer que sur des matières réduites en grains très-fins. Or, comme le minerai est très-dur, il est nécessaire d'employer des broyeurs énergiques et même de faire subir à certaines parties de ce minerai une opération préliminaire.

Chauffage du minerai. — Ce sont les blendeux en roche qui doivent être étonnés avant leur broyage. On les passe avec 1/2 p. 100 de houille en menus dans des fours continus à cuve prismatique de 4 mètres de haut. On doit modifier ce procédé, qui donne de mauvais résultats : l'action directe des gaz de la combustion produit à la surface des morceaux de minerai une oxydation qui augmente rapidement en présence des agents atmosphériques et se traduit par la formation d'une pellicule jaunâtre; c'est un sulfate basique de zinc, substance très-ténue, qui se réduit au broyage en une poussière presque impalpable et impossible à recueillir au lavage. Pour éviter cette perte considérable, on va essayer de chauffer le minerai par les gaz réducteurs de petits générateurs accolés aux anciens fours, et, si cette tentative ne réussit pas, on fera passer le minerai dans des cylindres en tôle qui le soustrairont complétement à l'action des flammes. En attendant, on ne laisse séjourner à

l'air le minerai étonné que le moins longtemps possible, et, dès qu'il arrive de la mine, on le passe aux broyeurs. On ne voit donc presque jamais de stocks de ces minerais sur le quai de déchargement du chemin de fer; ce n'est qu'en automne qu'on le laisse s'accumuler pendant un mois ou deux, temps nécessaire pour passer à la préparation mécanique les menus riches et pauvres de toute l'année dont le tas durcirait par les fortes gelées d'hiver et deviendrait impossible à manier.

Broyage. — Cette pulvérisation si fine précédant le lavage est caractéristique de la préparation mécanique d'Ammeberg, où les plus gros grains passés n'ont pas plus de $0^{m},002$ de diamètre.

L'appareil adopté est le broyeur à cylindres. Ce sont deux forts manchons en fonte de $0^{m},12$ d'épaisseur, de $1^{m},20$ de diamètre et de $0^{m},40$ de largeur (Pl. VI, *fig.* 1, 2, 3), montés sur deux arbres en fonte portant des renflements d'un diamètre égal au diamètre intérieur de ces cylindres. La surface de contact de ces deux pièces, qui s'adaptent l'une à l'autre par simple adhérence, est légèrement conique. Six forts crampons (*a*) filetés à leurs extrémités, munis d'écrous et logés dans des rainures, permettent, par un serrage énergique, de rendre cette adhérence aussi forte que l'on veut.

L'un des arbres (A) est disposé dans le prolongement de l'axe d'une roue hydraulique affectée uniquement au service du broyeur et à laquelle il est relié invariablement. Le cylindre monté sur l'arbre A participe donc ainsi au mouvement de la roue, dont la masse a été rendue très-puissante par l'adjonction d'un énorme volant, et il entraîne l'autre cylindre par le simple frottement qui s'exerce à la génératrice de contact.

Quatre fortes barres en fer forgé (*b*, *b*, *b*, *b*) qui supporteront, par extension, tout l'effort de réaction des deux cy-

lindres, constituent en même temps les glissières qui doivent guider le mouvement des pièces mobiles. Elles sont maintenues entre elles, à leurs extrémités, par des boulons qui viennent se loger et se fixer dans un puissant massif de fondation en maçonnerie. C'est contre leurs extrémités recourbées que viennent buter les pièces sur lesquelles se reporte toute la pression exercée entre les deux cylindres pendant que l'appareil fonctionne; c'est-à-dire, d'une part, les pièces en fonte E contre lesquelles s'appuient les coussinets de l'arbre moteur A dont l'axe doit rester invariable, et d'autre part les pièces en fonte D. Les coussinets de l'arbre B, mobiles entre les glissières, sont séparés d'une pièce en fonte C, également mobile dans le même sens, par quatre ressorts semblables aux ressorts de wagons et destinés à amortir l'effort considérable qui va se développer pendant l'opération du broyage et à prévenir les ruptures qui pourraient se produire, en cédant sous l'action des morceaux trop durs pour être écrasés, comme les éclats d'outils, par exemple.

Deux fortes tiges (*e*, *e*) en fer forgé, filetées sur presque toute leur longueur, traversent les pièces D et C et viennent s'accrocher par un renflement (*f*) aux coussinets de l'arbre B; un écrou (*h*) permet de donner aux ressorts la tension voulue, et deux autres écrous (*h'*) et (*h''*) servent à rapprocher ou à éloigner l'arbre B de l'arbre A, et à fixer la position de la pièce C. A Ammeberg, l'appareil se règle ainsi : On tend les ressorts de toute la force qu'un homme peut développer, sur l'écrou (*h*), puis on rapproche l'arbre B de l'arbre A jusqu'au contact des deux cylindres. A mesure que les deux cylindres s'usent on rapproche l'arbre B de l'arbre A; quand on passe des menus durs, cette opération se fait tous les quatre jours, et, pour des minerais étonnés, tous les huit jours seulement. La surface extérieure des deux cylindres n'est pas exactement cylindrique; elle est légèrement conique en sens inverse pour chacun d'eux relativement à

l'autre. De cette façon, la force qui s'exerce sur un fragment de minerai entraîné par le broyeur se décompose en deux, l'une normale à la ligne de contact des deux cylindres, l'autre parallèle à cette ligne; la première de ces deux forces détermine l'écrasement et la seconde le facilite singulièrement, en sollicitant latéralement le morceau de minerai soumis à cette pression. De plus, l'usure élémentaire de chaque cylindre, au point où se produit l'écrasement du morceau du minerai considéré, se produit suivant une courbe légèrement oblique à la circonférence directrice du cylindre qui passe en ce point; on n'a donc pas à craindre la formation de sillons qui ne feraient que s'accentuer avec le temps. Lorsque la surface des broyeurs est parfaitement cylindrique, il se produit bien vite sur la ligne médiane une trace profonde qui nuit à la régularité du broyage et qui nécessite des réparations fréquentes. Mais il est évident que la conicité des surfaces extérieures des cylindres, par leur réaction réciproque au moment du broyage, crée, dans le sens des axes de ces cylindres, des poussées qu'il faudrait combattre si cette conicité était exagérée. C'est pour cela qu'à Ammeberg, la différence des deux diamètres extrêmes dont le plus grand a $1^{m},20$, n'est que de $0^{m},01$; mais, si faible qu'elle soit, elle suffit pour manifester son heureuse influence. Malgré cette disposition, quelques sillons finissent toujours par se creuser à la surface des cylindres; mais, quand ils deviennent un peu profonds, on reporte le cylindre au tour pour faire disparaître ces inégalités. Les manchons durent en moyenne un an; ils sont faits d'une fonte moulée en coquille, assez dure pour résister à l'usure et très-peu brisante.

Les pièces qui fatiguent le plus dans ces broyeurs sont les ressorts; on avait primitivement employé des tampons formés de rondelles en caoutchouc, mais on les a remplacées par des lames en fer recourbées qui donnent de très-bons résultats. L'acier aurait été trop cassant, car, malgré

le choix d'un métal moins capricieux, on a souvent des lames brisées. Le jeu de ces ressorts est de $0^m,04$ à $0^m,05$.

On peut passer par jour à ce broyeur 50 tonnes de menus de minerai brut et 75 tonnes de minerai étonné.

La force de la roue motrice est de 30 chevaux.

Il y a deux broyeurs à Ammeberg pareils à celui qui vient d'être décrit et complétés chacun par l'appareil suivant.

Trommel élévateur. — Cette roue, représentée en coupe (Pl. VI, *fig.* 2), est à deux jantes : l'une extérieure, en tôle pleine DD, l'autre intérieure en tôle percée de trous BB; la première est cylindrique, la seconde légèrement conique; toutes deux portent à leur surface intérieure douze cloisons héliçoïdales aboutissant à autant de godets disposés à droite et à gauche de la roue, au bord des deux jantes, et recevant : les uns, le refus du trommel; les autres, les grains assez fins pour passer par les trous de la tôle percée. Un tuyau à mille trous injecte de l'eau à forte pression en pluie fine contre le trommel, pour le dégorger et pour faciliter la descente des matières dans les godets.

Le minerai broyé, conduit par le canal en tôle AA à cet appareil, est ainsi divisé par lui en deux classes, l'une élevée jusqu'au déversoir C qui la reconduit au broyeur, l'autre jusqu'à un déversoir E. Une courroie sans fin, enroulée sur deux poulies montées sur l'arbre moteur du broyeur et sur l'arbre O, transmet le mouvement du premier au second, et par suite à l'arbre de la roue, relié à ce dernier par un engrenage conique.

Le minerai à pulvériser passe successivement par chacun des deux broyeurs d'Ammeberg, qui ne diffèrent entre eux que par la dimension des trous des trommels élévateurs. Le premier de ces appareils ne laisse passer que des grains d'un diamètre inférieur à $0^m,006$, qui sont eux-mêmes séparés, au sortir du déversoir E, en deux classes, par un petit trommel qui ne laisse passer que les grains dont le

diamètre est inférieur à $0^m,002$; le refus seul est conduit par une vis d'Archimède au second broyeur, dont la roue élévatrice ne donne que des grains d'un diamètre inférieur à $0^m,002$.

Tel est le degré de finesse auquel sont ramenés par broyage tous les minerais destinés à passer aux appareils de la préparation mécanique.

Classement général. — Pour classer les grains par densité, ce qui est le but de la préparation mécanique, on fait ordinairement un premier classement par dimension ; puis, dans chaque catégorie ainsi obtenue, un second classement par équivalence au point de vue de la chute dans l'eau, propriété définie ordinairement par le mot allemand *gleichfälligkeit*. Pour les sables fins et les *schlamms*, le premier classement se fait par *gleichfälligkeit*, et dans le second classement des catégories ainsi obtenues, on fait intervenir, outre la résistance de l'eau, la résistance au frottement sur des surfaces unies, l'action des secousses, etc.

Généralement, les *schlamms* passent avec les sables au classement par dimension et traversent ainsi tous les trommels. A Aunneberg, comme la quantité de ces schlamms est très-considérable, on a jugé à propos, pour ne pas encombrer l'appareil classeur, de faire tout d'abord une séparation grossière par *gleichfälligkeit*. Les matières, au débouché des deux broyeurs, sont entraînées par un courant d'eau au-dessus de *spitzcastes* à courant d'eau ascendant, dont les premières sont réglées de façon à ne laisser passer dans les suivantes que des grains d'un diamètre inférieur à $0^m,001$; celles-ci donnent des sables fins jusqu'aux schlamms qui sont entraînés par le courant d'eau (*).

(*) Les broyeurs donnent en moyenne :

20 p. 100 de grenailles de $0^m,002$ à $0^m,001$.
43 p. 100 de sables fins au-dessous de $0^m,001$.
37 p. 100 de schlamms.

Les dépôts des premières *spitzcastes* vont se réunir dans un réservoir, sous une *noria* qui les élève jusqu'aux trommels.

Classement des grenailles. — Après un emploi à Ammeberg de longs trommels dans lesquels les matières étaient tamisées en passant sur des toiles de moins en moins fines, on a essayé la méthode de classement par refus qui est infiniment préférable; je renvoie, pour de plus amples détails sur la discussion des deux systèmes, au mémoire de M. Henry sur la préparation des minerais de plomb et de zinc (*Annales des mines*, 1871), et c'est la seule qui ait subsisté. Depuis son introduction, les réparations sont devenues moins fréquemment nécessaires et les tôles durent en moyenne deux ans.

L'appareil se compose d'un bâti en forme de pyramide, sur les faces duquel sont disposées deux séries semblables de 4 trommels étagés les uns au-dessus des autres. Les dimensions des trous sont successivement de $0^m,002$, $0^m,0015$, $0^m,00125$, $0^m,001$.

Nous avons vu que les grains des matières broyées, élevées par la noria jusqu'à l'appareil classeur, ont des dimensions variant de $0^m,002$ à près de $0^m,001$; ils sont divisés par les trommels successifs en cinq classes, dont les quatre premières sont données par refus et la dernière par tamisage; celle-ci, formée par des sables dont les grains ont un diamètre inférieur à $0^m,001$, est réunie à la catégorie des sables donnés par les secondes *spitzcastes*, et passe aux cribles du Hartz; les quatre premières sont triées sur des cribles Utch.

Traitement des sables et des grenailles. — Crible du Hartz. — Je renvoie pour la théorie de cet appareil au mémoire de M. Henry, cité précédemment; mais je décrirai celui d'Ammeberg avec les petites modifications

qu'on y a apportées. Les parois du crible sont en tôle et il est divisé en quatre compartiments par des cloisons également en tôle; à la partie supérieure seulement, dans les compartiments où se meuvent les matières et les pistons, les cloisons et les parois du crible sont munies d'un garnissage en bois. Chaque caisse est percée à sa partie inférieure de deux trous fermés par des obturateurs coniques placés à l'extrémité inférieure de tiges verticales dont l'extrémité supérieure, filetée et prise dans un écrou fixe, est munie d'une manivelle permettant ainsi par sa rotation d'élever ces obturateurs pour dégorger l'appareil. Au-dessous de chaque caisse est un réservoir dans lequel tombent les matières tamisées au compartiment correspondant et d'où elles sont retirées à la pelle. L'eau qui sort de ces bassins circule dans un petit labyrinthe, où elle dépose les schlamms entraînés malgré le classement préliminaire. Les stériles sont déversés du dernier compartiment dans une caisse. Un arbre imprime, au moyen d'un seul excentrique, un mouvement d'oscillation aux extrémités de deux balanciers auxquels sont reliées les tiges des quatre pistons. On sait que, plus les matières à traiter sont fines, plus l'amplitude des secousses doit être faible, et plus, au contraire, leur nombre doit être considérable dans un temps donné.

Ces éléments de la question dépendent de la vitesse de rotation de l'arbre et de la longueur de l'excentricité et ils sont susceptibles d'être modifiés par le changement d'un engrenage et d'un excentrique, pièces que l'on dispose, dans la construction de l'appareil, de façon à pouvoir les remplacer facilement par des pièces de même nature. A Ammeberg, le nombre des secousses est de 180 à 200 par minute, et leur amplitude varie de 5 à 9 millimètres. On sait aussi que, dans les cribles du Hartz, le fond forme un tamis qui doit pouvoir laisser passer les grains les plus gros des matières soumises au triage, et qu'on dispose sur ces toiles,

pour empêcher toute la matière de parvenir jusqu'au tamis, une couche de grenaille de fonte ou mieux de minerai, appelée *satz* d'un mot allemand. L'épaisseur de cette couche détermine la richesse des matières qui peuvent arriver, en la traversant, jusqu'à la toile métallique, et qui tombent alors au fond de la caisse; on peut ainsi obtenir la richesse voulue, à quelques centièmes près de teneur en métal. La trémie de chargement avait primitivement un appareil distributeur qu'on a dû supprimer par suite de son défaut de régularité. Deux cribles sont toujours accouplés dos à dos et entre les deux se trouve un tuyau conduisant l'eau que l'on fait couler de temps en temps dans le compartiment du piston en ouvrant un robinet.

Les cinq catégories classées par le crible du Hartz sont à Ammeberg :

1° Blende plombifère;
2° Blende riche;
3° Mélangés riches;
4° Mélangés pauvres;
5° Stériles.

Quand la blende ne contient pas du tout de galène, on obtient de la blende riche, trois catégories de mélanges, et des stériles.

La blende plombifère est repassée à un autre crible, semblable au premier, et qui la classe en trois parties :

1° Galène;
2° Mélange de blende et de galène;
3° Blende riche.

Cette blende riche est réunie à la première, et le mélange de blende et de galène repasse au même crible.

Il reste donc à traiter les mélanges riches et pauvres : on les passe séparément à des cribles semblables au premier, et le produit de chaque compartiment est repassé au traitement régulier avec les sables de teneur correspon-

dante. Ces mélanges ne sont, en général, jamais rebroyés.

On traite en moyenne 30 tonnes de ces sables par jour sur 11 cribles, dont 7 sont occupés par les matières brutes, 1 par la blende plombifère, 2 par les mélangés riches et 1 par les mélangés pauvres.

La teneur des blendes riches doit être de 42 à 42,50 p. 100 de zinc et celles des stériles, au plus de 13 p. 100. Avec un peu d'exercice, on arrive à apprécier ces teneurs à une unité près, au simple aspect physique de ces matières. Des analyses hebdomadaires viennent d'ailleurs contrôler le travail des ouvriers et la surveillance des contre-maîtres.

Crible Utch. — Dans le crible Utch, les matières ne traversent pas le fond du crible, elles sont évacuées directement par des siphons en tôle qui les déversent dans des wagons. Ces siphons traversent la paroi du crible (Pl. VI, *fig.* 5, 6) et l'on réglait la sortie des matières au moyen d'une vis placée à la partie postérieure du siphon; mais le jeu du siphon dans l'ouverture de la paroi rendait l'étanchéité du crible insuffisante, et l'on a dû fixer les siphons et régler la sortie au moyen d'une glissière percée d'un trou et placée à l'extrémité plongeante de chaque siphon. Le nombre des secousses est de 135 et leur amptitude de 12 à 15 millimètres.

Ce qui caractérise ce crible, c'est que l'élimination, au lieu de commencer par les riches, commence par les stériles. Les déversoirs d'un compartiment à l'autre sont situés à la partie inférieure des cloisons séparatrices, et l'ouverture des siphons ne plonge que dans la couche supérieure des matières soumises au triage; on n'a donc pas à craindre l'évacuation trop rapide des matières lorsque les grenailles sont trop grosses, car on peut la rendre aussi faible que l'on veut sans gêner leur mouvement, puis elle se fait par une voie moins contournée que dans les autres cribles;

mais le défaut de symétrie de cette évacuation subsiste toujours. Ce classement, par ordre de sortie inverse de celui qui est généralement adopté, a un avantage que je vais chercher à faire comprendre. Dans tout classement d'un mélange binaire, on distingue trois catégories : riches, mélangés et stériles. La première et la dernière sont composées respectivement de grains de minerai et de gangue presque homogènes; la catégorie intermédiaire est composée de deux sortes de grains : 1° ceux qui, gangue ou minerai, ayant le même degré d'homogénéité que les grains riches et stériles, classés précédemment d'une manière définitive, n'ont pas eu le temps de gagner la place qu'ils devaient occuper théoriquement dans l'échelle des couches; 2° ceux qui, par leur défaut d'homogénéité, ne devaient pas se mêler aux grains riches et stériles des deux couches extrêmes.

Si l'on repasse ces mélangés à un crible semblable, avec l'intention de recueillir des riches et des stériles d'une même teneur en métal que ceux de la première opération, il est clair que les grains de la première sorte seront les seuls qui soient susceptibles de se classer, et que les autres pourront être passés indéfiniment, sans sortir du compartiment intermédiaire, et cela parce que les premiers ne proviennent que de l'imperfection du premier criblage, tandis que les seconds sont dus à ce fait que la séparation du minerai et de sa gangue n'a pas été effectuée complétement par le broyage. On voit donc qu'un rebroyage finit par devenir nécessaire; or, dans bien des cas, on l'effectue immédiatement sur les mélangés provenant du premier criblage, pour éviter un remaniement de matières ou un encombrement d'appareils.

Remarquons maintenant que, quel que soit le crible, les matières arrivées au dernier compartiment, ayant subi plus longtemps l'action des secousses, sont mieux classées qu'aux précédents; que, par conséquent, si, comme dans

le crible Utch, on n'évacue les riches qu'en dernier lieu, la portion des mélangés formée de grains homogènes se composera plus particulièrement de stériles, tandis que les riches y domineront dans le cas contraire. Ainsi donc, en rebroyant les mélangés du crible Utch, on risque moins que dans tout autre cas de broyer inutilement des grains de minerai.

A Ammeberg, abstraction faite de la considération précédente, les ingénieurs ont cherché à comparer le crible Utch au crible du Hartz à plusieurs autres points de vue. Tout d'abord l'expérience montre que la plus grande teneur en métal des riches, et la plus faible teneur des stériles que l'on puisse obtenir pratiquement aux deux appareils, ne varie pas d'un centième de l'un à l'autre :

Les riches tiennent . . . . 42 p. 100 de zinc.
Les stériles — . . . . . 12 p. 100 —

D'ailleurs, on avait déjà reconnu, à Ammeberg, que, par l'usage d'appareils très-imparfaits, on arrivait aux mêmes résultats pratiques de teneurs en zinc pour les riches et les stériles qu'avec des appareils mieux construits, et que les perfectionnements introduits ne devaient porter que sur un fonctionnement d'appareils automatiques et continus qui augmente la production et diminue la main-d'œuvre, et sur le système qui nécessite les réparations les moins fréquentes, dont l'entretien soit le plus facile. A ces divers points de vue, les cribles Utch et du Hartz ne présentent pas les mêmes avantages ; ainsi, dans le premier, la main-d'œuvre est moindre que dans le second, puisque, dans l'un, les matières tombent d'elles-mêmes dans les wagons, et que, dans l'autre, il faut les retirer à la pelle ; mais la production est plus faible, les réparations sont plus souvent nécessaires et moins commodes. On conçoit, en effet, que les grains passant sur les toiles fines du crible Utch, pénètrent souvent par leurs aspérités dans les mailles du tamis et l'ob-

struent, puisque, le mouvement longitudinal aidant, la toile soit bien vite usée et hors de service. Ainsi, la durée d'un fond de crible Utch ne dépasse pas 2 à 3 mois, tandis qu'elle est de 6 mois et plus pour les tamis des cribles du Hartz. En outre, le classement aux trommels n'étant jamais parfait, il se présente aux cribles Utch une grande quantité de grains assez fins pour traverser la toile métallique, qui tombent au fond de la caisse et encrassent l'appareil ; il faut alors le démonter pour le nettoyer et remettre ces matières en circulation dans d'autres cribles, d'où une perte de temps et de main-d'œuvre. Il est probable que, pour de grosses grenailles bien débourbées, cet appareil donnerait relativement de bien meilleurs résultats, surtout après quelques perfectionnements qu'il comporte ; ainsi, l'évacuation des matières dans chaque compartiment se ferait avec plus de symétrie si la partie plongeante du siphon avait une ouverture rectangulaire de la largeur du crible ; le mouvement de l'eau dans la caisse serait plus régulier si cette caisse avait un fond cylindrique comme le crible du Hartz d'Ammeberg ; enfin, une petite ouverture au fond du crible permettrait de le débourber sans le démonter.

En résumé, si, dans cette usine, il y a un avantage de l'un des appareils sur l'autre, il n'est pas considérable, et il paraît plutôt se décider en faveur du crible du Hartz. Cet avantage aurait été plus important, si l'on avait pu installer ces cribles sur une plate-forme et rendre ainsi le chargement des produits dans les wagons automatique ; mais il aurait alors fallu élever les matières à trier jusqu'aux cribles, ainsi que l'eau qui les arrose, car la chute d'eau est très-faible, et il n'existe aux alentours aucune dénivellation de terrain qui eût rendu possible une semblable disposition d'appareils.

Dans cette situation, on a cru devoir conserver les cribles Utch pour les grains les plus gros, et l'on traite en

moyenne, par jour et sur 7 appareils, 14 tonnes de grenailles qui donnent 2.400 kilog. de blende et des mélangés. Les mélangés des grenailles de 1^{mm} et 1^{mm}1/4 sont repassés une fois au crible du Hartz; ils occupent deux cribles et donnent 800 kilog. de blende et des mélangés qui sont rebroyés au pulvérisateur Schwartzmann et repassés au crible du Hartz; ils n'occupent plus alors qu'un seul crible. Les mélangés des grenailles de 1^{mm}1/2 et de 2^{mm} sont immédiatement rebroyés au pulvérisateur Schwartzmann, puis passent par un système de *spitzcastes* et de 4 trommels donnant des matières pour 3 cribles Utch, 2 cribles du Hartz et 4 tables tournantes.

Tous les mélangés rebroyés donnent ainsi : aux trois cribles Utch 600 kilog. de blende, aux trois cribles du Hartz 1.200 kilog., et aux tables tournantes 800 kilog.

Pulvérisateur Schwartzmann. — Le pulvérisateur inventé par M. Schwartzmann, directeur général des mines et usines d'Ammeberg, consiste en un disque en fonte A à axe horizontal (Pl. VI, *fig.* 4) et en deux cylindres B, en fonte, à axes horizontaux disposés de part et d'autre du disque et pressés contre lui par des ressorts en lames de caoutchouc. L'arbre sur lequel est monté le disque est dans le prolongement de l'arbre de l'un des gros broyeurs, et l'on peut les relier l'un à l'autre au moyen d'un embrayage. Quand le disque tourne, il provoque par simple adhérence le mouvement de rotation des cylindres, mais il se produit à la ligne de contact un mouvement relatif des deux surfaces, l'une par rapport à l'autre, car la ligne de contact sur le disque, étant un rayon, a des vitesses inégales en ses divers points, tandis que sur le cylindre la ligne de contact a la même vitesse en tous ses points. Ce mouvement relatif ajouté à la pression est très-favorable à l'écrasement des matières.

Le principe est celui de la meule, mais l'appareil en dif-

fère en ce que les matières ne passent qu'une fois entre les deux surfaces écrasantes, tandis que dans la meule certaines parties peuvent rester longtemps soumises à son action et subir ainsi une pulvérisation exagérée et inutile. L'usure des surfaces est uniforme; cependant il tend à se former un sillon à la circonférence médiane des cylindres B. On peut cependant les laisser fonctionner jusqu'à usure du tiers de leur épaisseur environ, après quoi on les rabote au tour, ainsi que le disque.

La place occupée est très-petite, le disque a $1^m,45$ de diamètre, $0^m,16$ d'épaisseur, et les deux cylindres ont $0^m,75$ de diamètre et $0^m,30$ de largeur.

On peut passer à cet appareil 20 tonnes de matières par journée de 10 heures, avec une vitesse de rotation du disque de 10 tours à la minute.

Classement des schlamms. — Nous avons vu que les schlamms, au sortir des *spitzcastes* qui classent grossièrement les matières, après leur broyage, en trois catégories, grenailles, sables et schlamms, sont entraînés par un courant d'eau. Ils sont ainsi conduits dans un réservoir d'où une roue à godets les élève et les déverse dans un canal incliné en pente douce et interrompu par des caisses pointues dont les dimensions vont en croissant, de la première à la dernière, parce que la difficulté du classement et la lenteur du dépôt augmentent avec le degré de ténuité des schlamms.

On sait que le classement se fait ainsi par *gleichfälligkeit*. Toutes les *spitzcastes* d'Ammeberg sont à courant d'eau ascendant; mais l'eau arrive par un assez gros tube qui plonge jusqu'au fond de la caisse, et non par un tube traversant la paroi. Cette disposition est préférable, parce que le jet vertical de bas en haut localise son action au centre de la caisse, et que, pour que son influence se fasse sentir, on est obligé de lui donner une certaine vitesse qui provoque

des remous nuisibles à la régularité du dépôt, tandis que l'eau, descendant par un tube qui plonge dans la caisse, remonte le long des parois et crée ainsi, lorsque son débit est supérieur à celui de la caisse, un courant d'eau ascendant plus lent et plus régulier. On modère ce courant par un robinet à cadran.

On obtient une sensibilité extraordinaire dans le jeu de ces appareils. Le diamètre du tube est tel que lorsque le robinet est entièrement ouvert, le courant ascendant repousse tous les schlamms et la caisse ne laisse passer que de l'eau. A mesure qu'on diminue le débit du tube, on voit d'abord tomber les sables les moins fins auxquels s'ajoutent plus tard des schlamms dont le degré de ténuité diminue insensiblement, et, avec quelque pratique de ces appareils, on arrive à les régler avec une remarquable exactitude.

Le système complet de classement se compose à Ammeberg d'une série de cinq *spitzcastes*, suivie par deux *spitzlutes*, et, enfin, de trois grandes caisses de dépôts à labyrinthe.

A droite et à gauche du canal, légèrement en contre-bas des *spitzcastes*, sont disposés les appareils destinés au triage définitif des schlamms.

Traitement des schlamms. Tables Rittinger. — La préparation de schlamms se fait actuellement sur des tables Rittinger et sur des tables tournantes. On avait d'abord installé des tables à secousses, et, les premiers essais faits en Allemagne sur la table Rittinger ne semblant pas donner de bons résultats pour les blendes, on hésitait à les introduire à Ammeberg. Cependant l'essai fut tenté, et il eut plein succès; depuis, on remplace peu à peu les tables à secousses par ces nouveaux appareils, et les cinq dernières qui fonctionnaient encore vont diparaître prochainement. Je renverrai encore pour la description et la théorie de la

table Rittinger au mémoire de M. Henry. A Ammeberg, la surface est formée par des planches bien jointes, et, quand sa régularité s'altère par suite de l'humidité, on la rabote. Chaque châssis est à deux tables.

L'inclinaison, que l'on peut rendre variable, est dans les meilleures conditions pour les schlamms d'Ammeberg, quand la pente est de 78 millimètres par mètre. L'arbre à cames fait environ 43 tours, il porte trois cames, le nombre des secousses est donc de 130 environ à la minute. On peut diviser la nappe parabolique, à son extrémité inférieure, en quatre parties, par trois pièces de bois taillées en biseau, mobiles autour du clou qui les fixe à la table, et qu'on déplace de manière que leur extrémité suive le déplacement irrégulier des lignes de séparation. Cette irrégularité peut provenir, soit de la nature des schlamms traités, soit de la vitesse variable de l'arbre moteur, quand celui-ci emprunte son mouvement à une roue hydraulique.

Les quatre catégories obtenues sont :

1° Blende plombifère;
2° Blende riche;
3° Mélangés;
4° Stériles.

Les tables Rittinger ont réalisé une énorme économie de main-d'œuvre sur les tables à secousses : un homme suffit pour surveiller deux de ces nouveaux appareils, et il n'y a aucun remaniement à faire.

Tables tournantes. — Les tables tournantes d'Ammeberg sont en bois; elles sont concaves. La partie la plus élevée, sur laquelle tombent les schlamms, est alors la circonférence de la table; ceux-ci ont donc pour s'étaler, au moment où commence la séparation, une plus grande surface que sur les tables convexes. Puis l'entraînement des stériles se fait mieux sur les tables concaves que sur les tables con-

vexes, parce que le courant d'eau sur les premières augmente d'intensité à mesure qu'il descend, tandis que sur les secondes il perd toute sa force.

Les tables d'Ammeberg ont 2 mètres de rayon et les couronnes ont $1^{m},35$ de large; l'inclinaison des génératrices du cône sur l'horizontale est de $0^{m},095$ sur 1 mètre pour les schlamms les moins fins, et de $0^{m},085$ pour les schlamms les plus fins. Une table fait un tour en 3 minutes. Un ouvrier peut surveiller deux tables.

On obtient les quatre catégories suivantes :

1° Blende plombifère;
2° Blende riche;
3° Mélangés;
4° Stériles.

Nous avons vu que les 70 tonnes de minerai broyées par jour en moyenne donnent 14 tonnes de grenaille pour les cribles Utch, 30 tonnes de sable pour les cribles du Hartz et 26 tonnes de schlamms. Sur ces 26 tonnes, 16 tonnes vont aux tables Rittinger, occupent 6 appareils et fournissent 4.500 kilog. de blende; les 10 autres tonnes sont passées sur 7 tables tournantes et donnent 2.500 kilog. de blende.

La blende plombifère des tables Rittinger et des tables tournantes est repassée sur une table Rittinger et donne trois catégories :

1° Galène;
2° Mélange de blende et de galène;
3° Blende.

Le mélange est repassé au même appareil.

Les mélangés de blende et de stériles des 6 tables Rittinger et des 7 tables tournantes sont entraînés par un courant d'eau, qui les conduit dans un réservoir d'où une pompe aspirante et foulante les élève et les ramène en tête d'une série de 3 tables Rittinger et de 1 table tournante; les nou-

veaux mélangés sont repassés avec ceux dont ils proviennent à cette même série de 4 appareils. Les 3 tables Rittinger donnent environ 1.500 kilog. de blende par jour, et la table tournante 300 kilog.

Tous les appareils de la laverie sont réglés de manière à donner de la blende, d'une teneur en zinc de 42 à 43 p. 100 et des stériles d'une teneur de 13 p. 100. La galène a une teneur de 70 à 78 p. 100 de plomb, et sa production mensuelle, tant en grenailles qu'en sables et en schlamms, est environ de 10 tonnes.

Les frais de broyage sont environ de 1f,10 par tonne de minerai broyé, et les frais de lavage de 18 francs par tonne de blende.

NOTICE

SUR LA

CONSOLIDATION DES CARRIÈRES SOUTERRAINES

SOUS L'EMPLACEMENT

DES RÉSERVOIRS DE MONTROUGE

Par M. KELLER, ingénieur des mines.

I.

Situation des réservoirs. — Les eaux dérivées de la Vanne pénètrent dans Paris par un aqueduc souterrain, près de la porte d'Arcueil, et se rendent dans un immense réservoir de trois hectares et demi de superficie et de 308.000 mètres cubes de capacité, qui est situé dans le quartier de Montrouge, près de l'enceinte fortifiée, entre la rue de la Tombe-Issoire et l'avenue projetée de Montsouris. Ce réservoir, dont l'emplacement a été déterminé principalement en vue du niveau à obtenir pour la distribution des eaux, présente une particularité intéressante pour les ingénieurs des mines.

Il repose sur un terrain entièrement miné par les carrières souterraines de calcaire grossier, et des travaux considérables ont dû être exécutés dans ces carrières pour consolider l'emplacement assigné à ce gigantesque ouvrage, préalablement à sa construction.

Développement des anciennes exploitations souterraines de calcaire grossier à Paris et dans ses environs. — L'énorme quantité de pierres de taille et de moellons employés à construire les monuments du vieux Paris et les édifices privés, a déterminé l'extension progressive des carrières souter-

raines ouvertes dans le calcaire grossier. Les agrandissements successifs de la ville ont peu à peu englobé les exploitations anciennes dans son enceinte, de façon qu'aujourd'hui des quartiers tout entiers sont bâtis au-dessus des carrières. Celles-ci s'étendent sur la rive droite de la Seine, sous une partie de Chaillot et de Passy; et, sur la rive gauche, où leur développement est beaucoup plus considérable, on les rencontre sous les quartiers du Montparnasse, de Notre-Dame-des-Champs, de l'Odéon, de Plaisance, Saint-Lambert, Necker, du Jardin-des-Plantes, de la Gare, de la Salpêtrière, de la Maison-Blanche, de la Santé, du Val-de-Grâce et de Montrouge.

Les exploitations souterraines se poursuivent en outre bien au delà de l'enceinte fortifiée. L'aqueduc de la Vanne repose lui-même sur des carrières, à partir du plateau de l'Hay, commune d'Arcueil, jusqu'au réservoir, sauf dans la partie resserrée où il traverse la vallée de la Bièvre, en empruntant les arches de l'aqueduc d'Arcueil. On peut, en suivant les galeries de consolidation exécutées sous ce grand ouvrage, parcourir souterrainement environ 3 kilomètres sans interruption, depuis l'enceinte des fortifications jusqu'à Arcueil, en passant sous le glacis du fort de Montrouge. Sur la rive droite de la Bièvre, une seconde partie de l'aqueduc, de 650 mètres de longueur, se trouve de nouveau sur carrières.

Notre but n'est pas de décrire ici cet ensemble de consolidations, qui ont été exécutées de 1868 à 1874, sous la direction des ingénieurs des mines chargés du service des carrières dans le département de la Seine. Il nous a paru cependant utile d'indiquer en quelques lignes l'existence de ces travaux, afin de fixer les idées sur l'étendue de ce groupe de carrières souterraines. Celles-ci sont réunies généralement les unes aux autres ou ne présentent entre elles que des massifs de séparation de quelques mètres d'épaisseur.

Défaut de stabilité des terrains minés par les carrières. — Les carrières, dont l'exploitation est relativement récente, diffèrent des carrières les plus anciennes en ce qu'on n'y a pas laissé systématiquement des piliers de masse plus ou moins espacés pour soutenir le toit de l'excavation. Le dépilage a été complet, et le terrain supérieur repose sur les terres mises en remblai par les exploitants, en arrière des fronts de taille, au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation. Ces terres, dites de carrière, sont composées des recoupes de la taille des pierres, des débris de calcaire marneux formant des lits entre les bancs de roche, et enfin du produit de l'ébousinage des moellons. Elles sont généralement maintenues par des murs secs de moellons, nommés *hagues*, qui forment le parement de galeries plus ou moins vastes, très-irrégulières, appelées *rues de Carrière.* De nombreux *piliers à bras*, colonnes formées par la superposition de gros moellons, sont disséminés dans ces remblais, et se rencontrent principalement dans les *hagues*. Celles-ci sont composées généralement de moellons plus petits, informes ou grossièrement taillés. Ces terres de carrière, amoncelées à la pelle, se tassent par l'effet du temps ; au bout de quelques mois, elles laissent déjà du vide sous le banc de roche qui constitue le ciel de la carrière. Les piliers à bras, sur lesquels ce banc repose alors presque exclusivement, ne tardent pas à s'écraser sous la charge du terrain supérieur. Celui-ci s'affaisse nécessairement dans ces conditions, en déterminant de nombreuses brisures dans la roche en ciel qui descend sur les remblais et les comprime d'une manière irrégulière. La compression est très-forte sur certains points ; elle est nulle sur d'autres points, où les remblais ne touchent pas le ciel.

Des vides plus ou moins étendus et irréguliers se rencontrent en grand nombre dans les carrières, soit par suite de l'insuffisance des remblais, soit sous forme de galeries d'exploitation demeurées dans leur état primitif.

Tel est le sous-sol factice des vastes étendues de terrain minées par les carrières entièrement dépilées. Son état d'équilibre n'est pas définitif. Sous l'influence de fortes charges et sous celle des infiltrations d'eau provenant, soit des pluies, soit de nappes supérieures, et qui se propagent avec plus ou moins de facilité par les nombreuses fentes du terrain jusque dans les carrières, les terres dites de remblai continuent à tasser; et ces tassements, lorsqu'ils se poursuivent après la construction des édifices, y déterminent forcément des lézardes et mettent en péril leur conservation.

Production et dangers des fontis. — Les carrières présentent en outre un danger d'une autre espèce, non moins redoutable, consistant dans l'existence de *cloches de fontis* qui se forment dans les carrières exploitées par piliers tournés, comme dans les carrières dépilées, dans les circonstances suivantes. Étant donné dans les carrières un espace vide, non remblayé, de quelques mètres carrés de superficie, dont le ciel est fissuré dans plusieurs sens, il arrive toujours un moment où les fragments du banc de roche tombent sur le sol en mettant à nu un banc moins compacte; celui-ci se détache à son tour; et, la désagrégation des couches continuant à s'opérer de bas en haut, il se forme une cavité en forme de dôme ou de cloche, dont le sommet s'élève progressivement par la chute des fragments marneux, sableux ou argilo-marneux, que la dislocation des bancs inférieurs met tour à tour à découvert. Le fontis, dont les bords affectent une forme circulaire ou elliptique, s'étend généralement jusqu'aux points d'appui du banc en ciel, jusqu'aux piliers, aux hagues ou aux remblais qui en limitent le périmètre. Mais sa calotte s'élève de plus en plus, soit subitement, soit avec le concours du temps. Le sommet de la cloche finit par n'être plus séparé de la surface du sol que par une épaisseur de terrain insuffisante; qui varie singulièrement suivant les lieux et les

circonstances. Alors, il se produit tout à coup un effondrement : le fontis *vient à jour*, en formant une excavation, plus ou moins circulaire, dont le diamètre et la profondeur dépendent de son importance et du degré de cohésion du terrain supérieur.

Ces effondrements entraînent des accidents graves lorsqu'ils se produisent sur les voies publiques, sous les pas d'un passant ou sous les roues d'une voiture. Lorsqu'ils surviennent sous les fondations d'un édifice, ils occasionnent généralement des dégâts importants, et nécessitent l'exécution de travaux périlleux, coûteux et difficiles pour consolider l'édifice ainsi compromis.

Les infiltrations d'eaux sont la cause la plus ordinaire de la venue à jour des fontis ; et l'on observe que ces accidents sont plus fréquents en été et en automne, après les pluies d'orages, ou bien en hiver, pendant les périodes de dégel.

Nécessité de travaux d'exploration. — Il importe de remarquer que les points des carrières où il existe des cloches de fontis sont généralement inconnus dans les carrières remblayées, à moins qu'on n'y exécute des travaux d'exploration. Les rues de carrières sont souvent obstruées par des terres qui y ont été déposées par les anciens carriers ou par des éboulis provenant des hagues et des remblais au milieu desquels elles sont tracées, ou encore complétement barrées, tantôt par des fontis, tantôt par d'anciens puits de carrière remblayés. Les fouilles d'exploration font constamment découvrir des tronçons de rues vides, les deux extrémités de ces rues ayant été seules remblayées.

En effet, comme les débris stériles de l'exploitation du calcaire sont insuffisants pour remblayer entièrement l'atelier souterrain, les ouvriers disposent les remblais en arrière du front de taille pendant l'exploitation, afin de se protéger ; mais ils sont forcés de laisser des lacunes, des

vides; et ces vides sont généralement disséminés, comme des îlots, au milieu des remblais, sans aucun ordre régulier. Ces vides donnent naissance à des fontis, d'autant plus dangereux que rien n'en fait soupçonner la présence, dans les parties de la carrière qui en sont le plus voisines. Aussi les fouilles d'exploration méthodiques doivent-elles toujours accompagner l'exécution des travaux destinés à consolider un emplacement miné. Dans ce voyage souterrain de découverte, on avance en se frayant un chemin à coups de pioche, en consultant fréquemment la boussole, en levant le plan des fouilles au fur et à mesure de leur exécution, et en se protégeant contre la chute des blocs du toit au moyen d'étais ou de piliers de moellons disposés partout où le commande la sécurité. Lorsque les fouilles atteignent un certain développement, les travaux de consolidation doivent être entrepris sans retard et être poussés de front avec l'exploration proprement dite.

Nécessité de consolider la carrière sous l'emplacement des réservoirs. — La carrière au-dessus de laquelle ont été construits les réservoirs des eaux de la Vanne, appartient au groupe dont nous venons d'indiquer les caractères, en signalant les dangers que les remblais incomplétement tassés, les espaces vides et les fontis qui s'y rencontrent présentent pour la stabilité du sol. La nécessité d'explorer cette carrière et de la consolider s'imposait d'une manière absolue, malgré la dépense importante que devaient entraîner les travaux à exécuter pour ce double objet. En effet, dès avant le commencement de l'entreprise, on reconnaissait que le terrain était entièrement miné. On accédait dans les rues de carrière, à l'Ouest, en suivant des vides existant sous la rue de la Tombe-Issoire et sous les propriétés adjacentes; de même à l'Est, en suivant des vides s'étendant sous le chemin de fer de Sceaux et qui avaient fait l'objet d'un travail de consolidation antérieur. De plus, on reconnaissait à la surface du sol, sur l'emplace-

ment même du réservoir, dix-sept puits, de $1^m,50$ jusqu'à 3 mètres de diamètre, irrégulièrement disséminés et qui avaient dû servir à l'extraction des pierres.

Une vaste carrière avait été, en effet, exploitée, il y a plus d'un demi-siècle, en cet endroit qui ne faisait pas encore partie de la ville de Paris. L'exploration a permis d'y suivre de nombreuses galeries ou rues de carrière, quelques-unes très-imparfaitement remblayées, mais la plupart vides, offrant une largeur variable de 1 à 4 mètres, et dont le développement dépassait 1.800 mètres.

Même en admettant que les exploitants eussent complétement remblayé les parties inconnues de la carrière avant de l'abandonner, chose à laquelle ils n'étaient d'ailleurs pas astreints par les règlements, on ne pouvait considérer un sous-sol aussi profondément modifié comme apte à recevoir, sans dispositions spéciales, les fondations d'un édifice des plus importants, qui exigeait, en raison de sa destination, une construction extrêmement soignée et une stabilité aussi parfaite que possible.

Choix du système de consolidation. — Deux systèmes de consolidation, employés l'un et l'autre avec un égal succès dans Paris, depuis plusieurs années, se présentaient naturellement à l'esprit.

Le premier consiste en travaux exécutés souterrainement, et spécialement dans la construction de piliers en maçonnerie, convenablement disposés de façon à soutenir le toit de la carrière sur toute son étendue, et à restituer ainsi au terrain supérieur le degré de stabilité qu'il doit présenter pour qu'on puisse y asseoir un édifice en toute sécurité.

Le second fait, au contraire, abstraction de ce terrain en ce sens qu'il consiste à jeter les fondations de l'édifice sur le sol même de la carrière. Dans ce système, on perfore le terrain par un certain nombre de puits qu'on remplit en béton ou en maçonnerie; les colonnes ainsi construites et

reliées à la surface par des arceaux, supportent tout le poids des constructions superficielles. L'application de ce système à la consolidation des réservoirs eût nécessité des puits par centaines et entraîné une extrême complication, parce qu'il ne s'agissait plus seulement de porter des murs, comme pour un bâtiment ordinaire, mais de soutenir avec une égalité parfaite le radier tout entier du bassin. Toutefois, sans même s'arrêter à ce point qui ne nous paraît point sans importance, ni à diverses autres objections de détail, les études préalables démontrèrent que ce second système devait entraîner une dépense au moins double du premier, en raison de la grande profondeur à laquelle se trouvait la carrière. Quoique d'une exécution beaucoup plus difficile, plus laborieuse et plus lente, le premier système fut donc préféré. En effet, la carrière, autant qu'on la connaissait, ne présentait pas de ces dislocations de la masse en ciel, de ces bouleversements si complets, qu'alors le système des colonnes s'enfonçant sous terre et reposant sur la masse intacte, s'impose comme une nécessité, même quand il doit entraîner un surcroît de dépenses.

II.

Description succincte des réservoirs. — Les travaux de consolidation ont été commencés le 7 septembre 1868. Interrompus le 6 mars suivant, par suite de nécessités budgétaires, ils ne furent repris qu'en juin 1872 et poursuivis dès lors avec une activité croissante jusqu'au 31 janvier 1874, date de leur achèvement (*).

(*) Il n'a malheureusement pas été donné à M. Descos, ingénieur des mines, chargé des travaux de consolidation des carrières du département de la Seine, de réaliser personnellement l'œuvre dont il avait conçu le plan. Les laborieux travaux auxquels il s'était déjà dévoué avec autant d'abnégation que de zèle, avaient entraîné la ruine de sa santé. Vaincu par la maladie, contraint de renoncer, au commencement de juillet 1872, aux travaux qui le

La superficie qu'il s'est agi de consolider ne mesure pas moins de 265 mètres de longueur et 136 mètres de largeur, formant un rectangle de 3 hectares 60 ares. Ce vaste emplacement est aujourd'hui couvert par les bassins contenant les eaux de dérivation de la Vanne, dont on lira certainement avec intérêt une description sommaire. C'est un extrait, en grande partie textuel, d'une note manuscrite, en date du 29 mai 1876, écrite par M. Huet, ingénieur des ponts et chaussées, chargé des travaux, et déposée à la bibliothèque de l'École des ponts et chaussées. Si nous sommes forcés, par l'étroitesse de notre cadre, de laisser dans l'ombre les détails secondaires, nous extrayons toutefois de la note précitée les principaux traits de cet ouvrage gigantesque, dont il importe de se rendre compte avant de passer à l'examen du plan des consolidations.

Les réservoirs de Montrouge sont placés sensiblement au point culminant de la rive gauche, dans l'intérieur de Paris, à une altitude variant de la cote 70 à la cote 76 au-dessus du niveau de la mer, et les eaux de la Vanne y sont emmagasinées à la cote 80, soit à 50 mètres environ au-dessus des quais de la Seine, de façon à desservir toute la rive gauche de Paris et les régions moyennes et basses de la rive droite.

A cet effet, ces réservoirs doivent contenir 300.000 mètres cubes d'eau, c'est-à-dire les arrivages de trois jours de la dérivation de la Vanne. On était limité, quant à la surface du terrain, à un rectangle de 250 à 300 mètres de longueur sur 140 mètres de largeur. Pour recevoir sur cette surface 300.000 mètres cubes d'eau, il fallait l'emmagasiner sur 9 mètres de hauteur. Il était, en outre, nécessaire, pour assurer le service, et en cas non-seulement

captivaient et auxquels il avait lié son existence, notre infortuné collègue est mort d'épuisement au mois de septembre de la même année. On peut dire avec vérité qu'il a sacrifié sa vie à ses fonctions.

de réparations, mais encore de nettoyages et de visites toujours indispensables, de diviser ce vaste approvisionnement. Il était donc naturel d'en faire une première division en hauteur, c'est-à-dire d'établir deux étages de réservoirs, puis de diviser chaque étage en deux compartiments égaux. On obtenait ainsi quatre compartiments ayant chacun son système d'alimentation et de distribution spécial, et pouvant suffire seul au service de la distribution dans Paris.

L'ensemble embrasse un vaste rectangle divisé à chaque étage sur sa longueur par un mur de séparation. Chaque compartiment a sensiblement la forme d'un carré de 128 mètres de côté à l'intérieur. Dans l'étage supérieur, l'eau est emmagasinée, à la cote normale de 80 mètres au-dessus du niveau de la mer, sur $3^{m},50$ de hauteur moyenne; l'étage inférieur comporte $5^{m},50$ de hauteur d'eau à la cote maxima de $74^{m},50$. Le réservoir est assis directement à la cote $68^{m},10$ sur un sol formé d'un calcaire marneux de bonne consistance et qui appartient à la formation des sables de Beauchamp. (Voir ci-après la coupe du terrain.)

Le réservoir inférieur est un vaste bassin en maçonnerie de meulière et chaux hydraulique, partagé en deux compartiments égaux par un mur de séparation en même maçonnerie. Le mur de pourtour de ce bassin a $1^{m},70$ d'épaisseur au niveau maximum de l'eau qui y est emmagasinée, et $2^{m},90$ d'épaisseur au niveau du dessus du radier, avec parement extérieur au fruit de $\frac{1}{8}$; toutefois, il est renforcé à la base par un solin intérieur de 2 mètres de rayon, puis par des contre-forts de $1^{m},40$ d'épaisseur placés à 4 mètres de distance d'axe en axe, et faisant saillie de $1^{m},80$ sur le parement intérieur du mur. Le radier a $0^{m},40$ d'épaisseur.

Sur ce bassin vient s'appuyer le réservoir supérieur. Le mur du pourtour de ce réservoir repose sur des voûtes en plein cintre de $2^{m},60$ d'ouverture et de $0^{m},45$ d'épaisseur, en maçonnerie de meulière et mortier de ciment, qui re-

tombent sur le mur de pourtour du réservoir inférieur au droit des contre-forts noyés dans ce mur. Il a 1m,30 d'épaisseur au sommet, 2m,10 au niveau du dessus du radier, et est renforcé à la base par un solin de 1 mètre de rayon. Le radier, en maçonnerie de meulière et en ciment, repose sur des voûtes d'arête, en plein cintre, de 0m,35 d'épaisseur à la clef et de 3m,15 d'ouverture qui retombent sur des piliers en maçonnerie de même nature placés dans le prolongement des contre-forts du mur de pourtour inférieur; ces piliers ont 0m,85 de côté, à la naissance des voûtes, avec fruit de 1/40e, et descendent s'appuyer sur le radier du réservoir inférieur. L'intérieur de chacun des quatre compartiments est recouvert d'un enduit en mortier de ciment de 0m,03 d'épaisseur.

La couverture s'étendant sur le réservoir supérieur se compose de voûtes d'arête, extrêmement légères, de 3m,66 d'ouverture, surbaissées au dixième. Elles sont formées de deux rangées de briques, d'un modèle spécial, posées à plat et croisées. L'épaisseur totale de ces voûtes est de 8 centimètres environ, y compris une chape en mortier de ciment. Cette couverture repose sur des piliers en briques de 0m,34 de côté, avec embase de 1 mètre de hauteur et de 0m,45 de côté, qui s'élèvent précisément dans l'axe des piliers sur lesquels s'appuie le radier du réservoir supérieur. Elle est protégée contre les influences atmosphériques par une couche de terre engazonnée de 0m,40 d'épaisseur.

Un système de tuyauterie et de valves sert à régler à volonté l'admission et la sortie des eaux.

Constitution du terrain. Puits de service. — Les travaux d'exploration ont commencé par l'ouverture d'un certain nombre de puits de service, circulaires, de 1m,20 de diamètre. Le projet comportait 24 puits régulièrement disposés à quelques mètres en dehors du pourtour de l'ouvrage, savoir : 1°, 8 puits distants de 32 mètres les uns des autres,

près du mur d'enceinte des réservoirs, côté du levant ; autant du côté du midi ; 2° 4 puits distants de 24 mètres les uns des autres, près du mur d'enceinte des réservoirs, côté de l'ouest ; autant du côté de l'est. Mais, par suite d'une réduction de 24 mètres, assignée plus tard à la longueur des réservoirs que le projet primitif fixait à 289 mètres, les puits de service de l'est se trouvèrent assez éloignés de l'enceinte modifiée, et l'on renonça à l'un d'eux non encore percé. Il en fut de même pour le puits extrême du Nord, voisin de la surface retranchée du périmètre des réservoirs ; de sorte que le nombre des puits de service réellement ouverts s'est réduit à 22. La profondeur à laquelle ces puits ont atteint le sol de la carrière a varié de 27^{m},60 à 31 mètres. Ils ont recoupé des assises de terrains très-régulières dont nous donnons ci-dessous une coupe indiquant la moyenne des épaisseurs des divers bancs traversés. Cette coupe est complétée par les indications d'un puits absorbant de 8^{m},25 de profondeur qui a été creusé près de l'angle nord-est des réservoirs, au point le plus bas de la carrière, dans le but d'y recevoir les eaux d'infiltration suintant en quelques points, au ciel de la carrière, et recueillies dans des rigoles entaillées dans le sol. Un sondage, pratiqué au fond de ce puits, a pénétré de 1^{m},75 dans l'argile plastique.

Coupe générale du terrain à l'emplacement des réservoirs.

		mètres.
Terre végétale.		13,60
Calcaire siliceux de Saint-Ouen.	Sables mêlés de cailloux et marnes.	4.90
Sables de Beauchamp.	Calcaire marneux avec lits de sable vert ou jaune.	2,50
	Marne argileuse verdâtre.	1,80
Marnes blanches.	Marnes blanches alternant avec des bancs de caillasse et des lits de sable rouge décolorés par places.	13,60

		mètres.
Calcaire grossier	Rochette	0,40
	Marne blanche avec caillasse	0,60
	Roche	0,60
	Masse	1,00
	Ciel de la carrière à la profondeur moyenne de 26m.	»
	Remblais ou vide	2,10
	Sol de la carrière	»
	Divers bancs de calcaire grossier	11,75
Argile plastique	Glaise	»

Le tableau ci-dessus représente l'épaisseur moyenne des diverses couches, qui a généralement été trouvée un peu différente d'un puits à l'autre, sans que les variations parussent réglées. Ainsi le banc nommé Rochette a varié d'épaisseur de $0^m,20$ à $0^m,70$. En général, les marnes blanches sur lesquelles ce banc repose se sont montrées plus on moins développées en sens contraire ; ainsi elles ont 1 mètre d'épaisseur au point où la rochette se réduit à un banc mince de $0^m,20$; sur d'autres points elles disparaissent entièrement et la rochette repose directement sur la roche.

L'épaisseur totale des bancs exploités éprouve aussi des variations, bien qu'il n'y ait eu qu'un étage d'exploitation dans cette vaste carrière. Sa hauteur, ainsi que les travaux ont permis de le constater, est en moyenne de $2^m,10$; elle s'abaisse sur une petite étendue à $1^m,30$ environ, et s'élève, particulièrement vers le nord-est, jusqu'à $2^m,80$ et même 3 mètres. Le sol de la carrière n'offre que des ressauts insignifiants ; il s'incline sensiblement vers le nord-est par une pente légère, mais continue ; et, sous l'angle nord-est du réservoir, il est à $8^m,50$ plus bas que sous l'angle opposé situé au sud-ouest.

L'épaisseur du calcaire grossier formant le toit de la carrière (roche et masse en ciel) est loin de varier dans les

mêmes proportions; elle passe seulement, d'une façon irrégulière, de $1^m,10$ au minimum à $2^m,10$ au maximum, autant que les puits, qui l'ont percée, ont permis de le reconnaître.

Les puits ont servi, soit à la descente des ouvriers, soit à celle des matériaux employés pour consolider la carrière.

Description des ouvrages souterrains. Piliers et galeries. — Le système de consolidation adopté consiste essentiellement dans la construction de piliers en maçonnerie, en nombre égal aux piliers des réservoirs et établis dans la carrière directement au-dessous de chacun de ces derniers. Ils ont des sections carrées, de $1^m,50$ de côté, dont les centres sont espacés de 4 mètres, et une hauteur égale, en chaque point, à celle de la carrière. Ils sont construits en moellons de calcaire grossier, hourdés en mortier de chaux hydraulique. Un certain nombre de ces piliers ont été exécutés dans les vides ou *rues* des anciens carriers; les autres ont leur emplacement au milieu des anciens remblais, qui ont été enlevés partout où il a été nécessaire. Une partie de ces terres a servi à combler les rues de carrière dans les portions non occupées par les piliers en maçonnerie; l'excédant a été monté au jour et transporté aux décharges publiques. Des fouilles méthodiques ont dû être pratiquées au milieu de ces terres pour permettre l'exécution de tous ces piliers; et elles ont servi en même temps à explorer d'une manière complète toute l'étendue de la carrière sous l'emplacement des réservoirs. A cet effet, on a ouvert souterrainement, à partir des puits, deux systèmes de galeries, parallèles les unes au grand côté, les autres au petit côté du réservoir, qui ont divisé la carrière en une série de rectangles. Des rameaux se détachant de ces galeries ont permis d'arriver à l'emplacement des divers piliers à construire. Les principales galeries ont été conservées pour la circulation, non-seulement pendant la période

d'exécution de l'ouvrage, mais d'une manière permanente. Les flancs de ces galeries ont une forme toute spéciale et présentent une série de redans, dont les parties rentrantes ne sont autres que les piliers de soutènement, tandis que les parties saillantes sont formées par des murs longitudinaux reliant ces piliers entre eux et portés à une distance convenable pour limiter à 1m,20 la largeur de chaque galerie, dimension suffisante pour le service.

Les plans (*fig.* 1 et 2, Pl. VII), extraits du plan général des consolidations exécutées sous les réservoirs des eaux de la Vanne (plan trop étendu pour être reproduit intégralement dans les *Annales*), représentent deux petites portions de la carrière consolidée et permettent de se rendre compte des dispositions adoptées, qui se reproduisent sous toute l'étendue du réservoir. L'explication de ces plans partiels nous permettra de serrer de plus près la description des travaux de consolidation.

Commençons par le plan (*fig.* 1). Sous les numéros 3 et 4 sont figurés deux puits de service, ouverts sur l'avenue Reille, du côté méridional du réservoir, et dont l'un a été agrandi au moment de l'achèvement des travaux souterrains et pourvu d'un escalier tournant en pierres, par lequel on descend dans les galeries, pour les visites. L'autre puits a été comblé ; le tronçon de galerie qui le mettait en communication avec le chantier souterrain a été bourré avec des terres pilonnées derrière une série de *hagues*, espacées d'environ 1m,50.

En face de chacun de ces puits, s'ouvre une galerie transversale de 132 mètres de longueur, s'étendant du côté nord jusqu'à la face opposée du réservoir. Des galeries analogues, d'une longueur double, perpendiculaires aux premières, s'étendent longitudinalement de l'est à l'ouest sous le réservoir. Il y a 8 galeries transversales et 4 galeries longitudinales. De plus, deux galeries conjuguées, séparées par trois files de piliers allongés, de 2m,50 de hauteur et

de $1^m,20$ de largeur, règnent tout autour du réservoir, en dedans d'un mur continu d'enceinte, d'une épaisseur minima de $1^m,20$. Cet ensemble de murs de soutènement et de piliers allongés constitue un ouvrage spécial de consolidation, régnant au-dessous de l'épaisse muraille qui enceint les réservoirs.

Tout l'espace compris entre les piliers est occupé par les anciens remblais, sauf les parties où l'on remarque des *hagues*, qui ont été bourrées lors de l'exécution des travaux de consolidation, et qui sont, soit des rameaux de galerie tels que *g* exécutés pour arriver à l'emplacement des piliers engagés dans les remblais, soit des rues de carrière ou des vides rencontrés dans l'exploration.

La rue de carrière R, qu'on voit sur la portion de plan *fig.* 1, aboutit à un énorme puits ayant autrefois servi à l'extraction de la pierre de taille, désigné sous les lettres ATS (ancien trou de service). Ce puits a été enceint d'un mur autour de sa base ; les terres qui le remplissaient ont été enlevées et remplacées par du béton. On a rempli de même avec du béton les autres puits, au nombre de 16, qui se trouvaient sous l'emplacement des réservoirs. Les galeries, avec leurs murailles flanquées de contre-forts, forment une véritable armature en pierre, qui vient soulager les piliers isolés, et dont la nécessité s'est manifestée au cours des travaux, en février 1873. Les piliers en vue le long de ces galeries ont été augmentés d'épaisseur de $0^m,15$, sauf de rares exceptions concernant des piliers déjà construits. En général, ils ont $1^m,65$ de côté dans un sens et $1^m,50$ dans l'autre, et sont reliés entre eux par des murs de $2^m,50$ de longueur et de 1 mètre d'épaisseur. Sur certains points où le toit de la carrière était en mauvais état ou la charge plus forte, par suite de la proximité d'anciens vides, l'épaisseur de ces piliers a même été portée à $2^m,15$, leur face visible venant à l'alignement des piliers allongés qui les relient. C'est ainsi que des portions de galerie ont

des parements en ligne droite ne présentant plus de redans, comme le plan *fig.* 2 en montre particulièrement des exemples. A la jonction des galeries, l'épaisseur des piliers a été portée uniformément à 2^m^,15. L'ensemble de ces dispositions a pour effet, dans chaque rectangle compris entre quatre galeries se coupant à angle droit, de contenir les remblais derrière un mur continu armé de contre-forts. Par exception, le long des deux galeries d'enceinte entre lesquelles les grandes faces des piliers principaux ne sont écartées que de 1^m^,20, les remblais ne sont contenus que par des bagues ou murs formés de moellons secs d'environ 0^m^,30 d'épaisseur. Encore, sur quelques points, a-t-il fallu renoncer à cette règle, toute d'économie, et remplacer les murs secs par des murs de soutènement en maçonnerie de mortier, ayant tantôt 0^m^,80, tantôt 1 mètre d'épaisseur, comme dans les autres parties de l'ouvrage.

L'épaisseur du mur d'enceinte souterrain varie suivant les points de 1^m^,20 à 1^m^,80, d'après l'état plus ou moins satisfaisant de la carrière. Il présente, mais seulement sous le réservoir de l'Ouest, des augmentations qui nécessitent une explication. Cette partie des consolidations était presque entièrement achevée lorsque la Direction des eaux et égouts, préoccupée de l'assiette des murs d'enceinte des réservoirs, projeta de fonder ce mur sur des arceaux reposant sur des piles en béton descendues jusque sur la masse de calcaire grossier. Ces piles de fondation devaient être espacées généralement de 12 mètres d'axe en axe, et présenter une section rectangulaire de 4 mètres de longueur dans le sens normal au mur de pourtour, et de 2 mètres de largeur. Les piles d'angles devaient avoir 4 mètres de côté dans les deux sens. C'est pour porter la base de ces piles en béton qu'ont été exécutées les maçonneries supplémentaires qu'on peut voir sous les lettres PQ sur le plan *fig.* 1. Combinées avec les piliers du projet primitif, elles forment des dés en maçonnerie de 6^m^,25 sur 5^m^,50 de côté, présentant, par

rapport aux piles de béton, des empatements de $0^m,75$ sur les flancs, de $1^m,25$ à l'extérieur de l'ouvrage et de 1 mètre à l'intérieur. Ces dés sont traversés par la galerie de pourtour.

Après leur exécution sous le réservoir de l'Ouest, la Direction des eaux et égouts a reconnu, en ouvrant les premiers puits destinés à contenir le béton des piles, que le terrain formait des assises suffisamment régulières pour recevoir, après achèvement des ouvrages souterrains de consolidation, les fondations du mur d'enceinte du réservoir ; elle a, en conséquence, renoncé à descendre ces piles sur la masse calcaire et les a arrêtées dans les marnes blanches, à une faible profondeur. Aucune pile n'a été établie sous le réservoir de l'Est.

Le toit de la carrière s'est montré généralement assez solide pour qu'on ait pu se dispenser de voûter les galeries, et se contenter de faire saillir les assises supérieures des piliers ou bien de calfeutrer le ciel avec du ciment sur les points où des blocs menaçaient de se détacher. Les galeries ne sont voûtées qu'en trois endroits, où elles se sont trouvées, par le fait du hasard, passer sous des cloches de fontis.

Les travaux exécutés pour consolider ces cloches méritent d'être décrits à leur tour.

Consolidation des cloches de fontis. — Au cours des travaux, on a découvert successivement cinq grandes cloches de fontis sous l'emplacement des réservoirs. Les hauteurs respectives de ces cloches, depuis le sol de la carrière jusqu'à leur sommet et les dimensions de leur base elliptique au niveau du toit de la carrière sont les suivantes, dans l'ordre de leur découverte :

CLOCHES.	HAUTEUR.	GRAND AXE.	PETIT AXE.
	mètres.	mètres.	mètres.
Cloche n° 1. . . .	9,00	9,50	4,00
— n° 2. . . .	11,85	10,00	6,00
— n° 3. . . .	9,80	8,00	6,20
— n° 4. . . .	8,90	5,60	3,00
— n° 5. . . .	8,10	6,30	1,90

Chacune de ces cloches, qui se sont formées soit pendant l'exploitation, soit après l'abandon de la carrière, était obstruée à sa base par un cône d'éboulement renfermant : 1° de gros blocs provenant de la chute de la masse en ciel ; 2° des blocs plus petits appartenant à la rochette ; et 3° des débris des bancs de marne, de caillasse et de sable immédiatement supérieurs au calcaire grossier.

Le premier soin a été de déblayer les cloches en opérant avec la plus grande circonspection, en y établissant au fur et à mesure des étais et des palplanches afin de garantir les ouvriers et d'empêcher les éboulements, et en faisant marcher l'exécution des maçonneries par petites parties, en même temps que les fouilles. On a poursuivi dans ces travaux un double but ; on a cherché : 1° à circonscrire les cloches avec des piliers en maçonnerie établis, autant que possible, de façon à soutenir leur débord, c'est-à-dire le contour-limite du toit de carrière non encore effondré ; 2° à remplir les cloches proprement dites jusqu'à leur sommet avec des matériaux convenablement choisis. On prévient de cette façon toute extension des fontis, soit en largeur, soit en hauteur ; et, en comblant le vide, on réalise la consolidation complète du terrain supérieur, quand celui-ci n'est pas encore désagrégé. Tel était le cas sous les réservoirs des eaux de la Vanne. La grande épaisseur du recouvrement le faisait prévoir, et un puits spécial, foncé au-dessus d'une des cloches (n° 2), avait permis de le constater. Si les fontis avaient entraîné la dislocation du terrain supérieur lui-même, on aurait opéré d'une manière toute dif-

férente, et l'on aurait fait reposer, aux endroits suspects, les piliers des voûtes du réservoir sur de hautes colonnes en maçonnerie ou en béton qui auraient traversé le mauvais terrain et les cloches, pour venir reposer sur le sol même de la carrière.

Pour réaliser le programme susindiqué, les procédés employés ont varié. Pour trois des cloches (nos 1, 2 et 3), il s'est présenté la complication des galeries qui devaient passer juste au-dessous d'elles et qu'on tenait à ne pas dévier, pour mieux assurer la régularité de position des piliers de consolidation toujours repérés par rapport au réseau des galeries, et disposés, comme on se le rappelle, exactement au-dessous des piliers correspondants du réservoir.

a. *Cloche de fontis remplie par-dessous.* — La cloche n° 1 s'allonge au-dessus et dans la direction d'une galerie transversale. On a donné à celle-ci une largeur uniforme de 1m,20; et l'on a élevé les murs qui en forment les parois jusqu'à leur rencontre avec les bancs de roche demeurés en place au pourtour de la cloche. Ces deux murs, épais de 2m,10 chacun aux points correspondants aux piliers du réservoir et de 1m,20 dans les parties intermédiaires, ont été prolongés de plusieurs mètres en deçà et au delà de la cloche, et ont suffi, dans ces conditions, pour soutenir efficacement les bancs en ciel formant la partie inférieure des parois de la cloche ou les bords de l'échancrure produite au toit de la carrière par le fontis. Ces deux murs ont été reliés par une voûte, en plein cintre, de 0m,70 d'épaisseur, ayant son extrados au niveau de la partie supérieure du banc de roche, lequel est de 5 mètres en ce point au-dessus du sol de la carrière. La cloche, ainsi réduite à sa partie supérieure, ne présentait dès lors plus qu'un vide de 4 mètres de hauteur qu'on pouvait consolider de plusieurs façons. Le moyen employé a consisté à ménager dans la voûte, au-dessous de la calotte, c'est-à-dire du

sommet de la cloche, une ouverture rectangulaire d'environ 1 mètre carré, servant à l'introduction des ouvriers et des matériaux, et à la surmonter d'une chambre maçonnée et voûtée, hors de laquelle il ne restait que des vides irréguliers qui ont été remplis avec des moellons posés à sec. Ce remplissage a eu lieu, partie pendant, partie après l'exécution de la chambre maçonnée, une des faces de cette chambre étant demeurée ouverte à cet effet et maçonnée seulement après l'achèvement de la pose des moellons à sec. La cloche comprend ainsi sous sa calotte deux voûtes en plein cintre superposées, ayant leurs axes parallèles, ayant même épaisseur et portées par les mêmes pieds-droits, séparées par un intervalle de 1^m,60. La cloche est entièrement remplie ; elle ne présente d'autre vide que le volume de la galerie de circulation et de la petite construction, sorte de chapelle en maçonnerie, qui en surélève la voûte, vers le milieu de sa longueur.

Pour exécuter cet ouvrage de consolidation, il a fallu, comme on l'a déjà compris, enlever l'énorme monceau de débris provenant de l'éboulement, en d'autres termes vider la cloche. Ce travail délicat a été exécuté par petites parties, en faisant marcher concurremment les maçonneries et la pose des étançons et voliges nécessaires afin de garantir les ouvriers contre des éboulements et de prévenir toute extension du fontis. Ces difficultés ont été surmontées avec bonheur dans les cinq cloches existant sous les réservoirs, grâce à l'expérience et au dévouement des ouvriers et des agents employés dans ces périlleux travaux.

Toutefois des circonstances particulières ont conduit à consolider de deux façons différentes les quatre autres cloches, dont deux, désignées sous les n°s 2 et 3, paraissaient à juste titre plus difficiles à combler, en raison de leur forme, que la cloche n° 1.

b. *Cloche de fontis remplie par-dessus.* — Le plan *fig.* 1, Pl. VII, représente en plan les maçonneries exécutées

pour consolider la cloche n° 2. Le débord de cette cloche est entièrement soutenu et cerné par d'épaisses maçonneries, qui livrent passage à une galerie longitudinale de circulation. Cette galerie est voûtée et communique à droite et à gauche avec des baies, au nombre de 4, également voûtées. Les voûtes sont en plein cintre et ont $0^{m},90$ d'épaisseur à la clef. Comme le montre la coupe, *fig.* 3, Pl. VII, toute la partie supérieure de la cloche, au-dessus de cet ensemble de voûtes, est rempli avec du béton. A cet effet, un puits circulaire de $1^{m},20$ de diamètre a été foncé à la surface du sol, directement au-dessus de la calotte et a été lui-même rempli avec du béton. La grande hauteur de cette cloche, qui mesure $11^{m},85$ au-dessus du sol de la carrière, et l'étendue de son périmètre avaient inspiré une certaine inquiétude sur l'état du terrain supérieur. C'est dans le double but de lever toute incertitude à cet égard et de mieux assurer le remplissage de la cloche, très-pointue vers son sommet, que ce puits a été creusé. Les divers bancs qu'il a recoupés n'ont présenté aucune trace de décollement, de sorte que la consolidation de la cloche paraît avoir complétement assuré la stabilité de la partie correspondante du sol.

c. *Cloches remplies en maçonnerie, par-dessous, avec cheminée centrale.* — Le mode de remplissage des vides souterrains avec du béton aurait pu être employé d'une façon analogue dans les trois cloches dont la suite des travaux a amené la découverte. On a préféré cependant remplir ces cloches par-dessous, parce que le puits dont il vient d'être question avait traversé une petite nappe d'eau à quelques mètres au-dessous du sol, et amené ainsi dans la carrière des infiltrations incommodes, sinon préjudiciables, qui n'ont pas encore cessé, plus de quatre ans après. D'autre part, l'emplacement des réservoirs, dont les travaux étaient alors en pleine activité à la surface, était occupé au-dessus de ces cloches par d'importants dépôts

de matériaux approvisionnés, de sorte que l'ouverture des puits, le roulage et le versement du béton dans la carrière auraient troublé l'entreprise des travaux exécutés au jour et faisaient craindre des pertes de temps, sinon des difficultés.

Les trois dernières cloches ont été vidées, comme les deux précédentes, et remplies en maçonnerie par-dessous. A cet effet on a ménagé, dans le centre du massif, une cheminée verticale, sorte de puits circulaire débouchant, à sa partie inférieure, sur un bout de galerie voûtée exécutée sous la cloche, et fermé à sa partie supérieure, progressivement rétrécie, par un tampon en pierre composé de deux dalles juxtaposées. Cette cheminée, qui s'élevait en même temps que le massif de maçonnerie, a servi très-commodément à l'introduction dans la cloche des maçons et des matériaux de construction, ainsi qu'à la montée et à la descente des bois de soutènement posés dans les fontis.

La portion du plan d'ensemble représentée *fig.* 2, Pl. VII, indique les maçonneries exécutées sous les fontis n° 4 et n° 5, le tronçon de galerie voûtée et la cheminée circulaire que chacun d'eux comporte. Ces fontis se sont produits dans une galerie d'exploitation longeant un front de masse, ou, plus exactement, longeant une partie de masse très-peu épaisse, que les carriers n'ont pas exploitée. L'existence de graves dislocations au toit de cette galerie est cause de l'importance qui a été donnée aux massifs de consolidation sous le débord des cloches et dans les parties adjacentes de la galerie d'exploration.

Les *fig.* 4 et 5 représentent en plan et en coupe verticale les maçonneries exécutées pour consolider la cloche de fontis n° 3. Le système employé est le même que pour les deux cloches précédentes; la disposition particulière que représente le plan est due à cette circonstance fortuite que la cloche a été rencontrée presque exactement à la croisée de deux galeries principales d'exploration, lors

du percement de ces galeries. Pour ne pas renoncer à conserver celles-ci comme galeries d'inspection, on les a voûtées à la traversée du fontis. La cheminée centrale, qui mesure 1^{m},20 de diamètre, débouche au-dessus de l'une des galeries, tout près de son intersection avec la seconde. Le volume des maçonneries a pu être ainsi réduit, sans aucun inconvénient pour la solidité de l'ouvrage. La cloche est remplie et son débord est soutenu sur tout son périmètre, comme dans les exemples précédents.

Ce système, que les fontis existant sous l'emplacement des réservoirs ont fourni l'occasion d'imaginer, a été appliqué depuis lors avec succès dans quelques circonstances où le mode usuel de remplissage des fontis avec des terres pilonnées n'aurait pas présenté de suffisantes garanties de stabilité.

III.

Conduite des travaux. — Les ingénieurs qui ont eu à faire exécuter des constructions souterraines savent seuls combien ces travaux nécessitent une surveillance minutieuse, qui ne peut être mise en parallèle avec celle qu'exigeraient les mêmes travaux exécutés au jour. Le besoin de surveillance était impérieux, sous l'emplacement des réservoirs, tant à cause de l'activité du chantier que de la précision avec laquelle les piliers devaient être établis. En 1873, année pendant laquelle les travaux ont été poussés le plus activement possible, le nombre habituel des ouvriers a été de 150 par jour, dont 130 dans la carrière. En juillet, ce nombre a même atteint 194 ouvriers, dont 166 dans la carrière.

Les travaux ont été exécutés à l'entreprise et conduits personnellement, du moins à partir du 23 décembre 1872, par deux entrepreneurs associés, MM. Trié et Lazies, assistés de trois contre-maîtres. Ils ont été contrôlés, sous la direction de l'ingénieur des mines, par quatre agents

en permanence appartenant au personnel de l'inspection des carrières, et dont les fonctions étaient nettement définies. L'un d'eux était employé à conduire et à surveiller l'exécution de tous les terrassements, comprenant les fouilles, les bourrages et le mouvement des terres, à en faire le métré et à en prendre les attachements jour par jour. Le second remplissait le même office à l'égard des ouvrages en maçonnerie. Il avait en outre à procéder à la réception des moellons, du sable, de la chaux, du ciment. Le troisième était chargé de tenir constamment au courant le plan général des fouilles et des ouvrages exécutés, de fixer sur le terrain l'alignement des galeries d'exploration, l'emplacement des piliers, enfin de lever le plan de tous les vides que faisaient découvrir les fouilles, au fur et à mesure de leur avancement. Il prenait en outre l'attachement des journées d'ouvriers employés en régie, particulièrement à poser et à déposer les bois de soutènement dont le cube était mesuré à leur introduction dans la carrière. Enfin un agent subalterne concourait à la surveillance des détails de toute sorte et spécialement à celle des ouvriers employés à la surface autour des puits.

Ce personnel choisi, plein de dévouement, avait une charge très-lourde et n'aurait pu être réduit.

Un double du plan d'ensemble des consolidations était mis au courant tous les huit jours au bureau de l'ingénieur. On y tenait en outre un registre portant les numéros de tous les piliers de soutènement projetés, sur lequel on inscrivait, en regard de chaque numéro, le mois dans lequel avaient été exécutées : 1° la fouille d'emplacement, 2° la maçonnerie, avec renvoi aux numéros des feuilles d'attachement. La construction d'un grand nombre de piliers, perdus dans les terres et masqués par des remblais aussitôt après leur achèvement, motivait ce double contrôle, pour prévenir toute omission ou toute erreur dans l'exécution comme dans le comptage et le payement des ouvrages.

Pour en finir avec ces détails, qui ne méritent peut-être pas d'être rapportés, nous indiquerons le système ingénieux employé par MM. les ingénieurs des ponts et chaussées pour le numérotage des 1.800 piliers qui supportent les voûtes des réservoirs, système qui a été adopté pour désigner les piliers correspondants de la carrière. Les 60 piliers carrés qui sur le plan forment la première file horizontale du rectangle (côté du nord) ont reçu les numéros de 1 à 60, en commençant par la gauche, c'est-à-dire par l'angle nord-ouest du réservoir. Les 30 piliers carrés qui forment la première file verticale de gauche (côté de l'ouest), ont été désignés par des lettres, savoir : les 24 premiers par les 24 lettres de l'alphabet, et les six derniers par les six premières lettres de l'alphabet grec. Un pilier quelconque est par suite désigné au moyen de deux signes, une lettre indiquant la file horizontale et un chiffre indiquant la file verticale du plan, à chacune desquelles il appartient.

Ce numérotage (légèrement modifié en ce que les six lettres grecques ont été remplacées par *aa*, *bb*, *cc*,... *ff*) a été gravé sur les piliers de consolidation formant les angles de toutes les galeries de circulation, de façon qu'en s'y promenant on peut, sans le secours d'aucun plan, désigner avec certitude le point des réservoirs sous lequel on se trouve et se reconnaître sûrement dans ce dédale souterrain. Cette précaution n'est pas inutile, car la longueur totale des galeries, la plupart uniformes d'aspect, atteint 3.600 mètres.

Matériaux employés. — Les maçonneries ont été construites avec des moellons de premier choix, simplement smillés, provenant des carrières des environs de Paris, principalement d'Ivry. Elles ont été hourdées en mortier composé d'une partie de chaux hydraulique et de deux à trois parties de sable de rivière.

La chaux hydraulique employée provient de Beffes (département du Cher) ; cette chaux s'est présentée, pendant

tout le cours du travail, avec une grande constance de qualité et a donné d'excellents résultats. Un échantillon pris au hasard sur le chantier a été remis à M. Durand-Claye, directeur-adjoint du laboratoire de l'École des ponts et chaussées, pour en faire l'analyse.

Les résultats ont été les suivants :

Analyse de la chaux de Beffes.

Silice	19,75
Alumine et peroxyde de fer	8,30
Chaux	55,95
Magnésie	0,85
Eau, acide carbonique et produits non dosés	15,15
	100,00

« Par sa composition chimique, cette chaux se classe « parmi les chaux éminemment hydrauliques. Mise en « pâte ferme et plongée dans l'eau, elle a fait prise com- « plète en douze jours. » (Extrait du Registre des Essais du Laboratoire de l'École, du 30 juin 1873.)

On a employé le ciment de Portland dans la construction des voûtes, sous les fontis, et pour boucher des fissures de la roche formant le ciel de la carrière.

Rapport de la section totale des piliers de consolidation à la surface consolidée. — Il est intéressant de connaître le rapport de la surface occupée par l'ensemble des murs ou piliers souterrains à la surface totale qu'il s'agissait de consolider.

D'après un relevé fait sur le plan de l'ouvrage, les constructions souterraines en maçonnerie présentent, additions faites, une section totale de 9.920 mètres carrés, savoir :

	mètres carrés.
1° Sous l'enceinte des réservoirs	3.042
(Mur de pourtour souterrain et zone comprise entre ce mur et les divisions rectangulaires).	
2° Sous les bassins	6.878
(Divisions rectangulaires souterraines.)	
Total	9.920

L'étendue superficielle correspondante, occupée par les réservoirs, est de 36.000 mètres carrés.

Le rapport cherché est par suite de $\frac{9920}{36000} = 27,5$ p. 100.

On a négligé, dans le relevé ci-dessus, les constructions, pourtant assez nombreuses, en moellons secs, les hagues établies dans les bourrages, les piliers à bras. Mais il y a lieu, en principe, d'ajouter aux maçonneries, pour apprécier le degré de résistance de l'ouvrage, la surface occupée par de rares étaux de masse laissés intacts par les exploiteurs de la carrière. Sous l'emplacement des réservoirs, ainsi que nous l'avons exposé précédemment, l'exploitation a été presque intégrale. Les carriers n'ont laissé subsister que des étaux de masse insignifiants, qui ne composent dans leur ensemble qu'une section bien minime d'environ 150 mètres carrés. En ajoutant ces 150 mètres carrés aux 9.920 mètres carrés de maçonnerie, auxquels on peut, à juste titre, les assimiler, le rapport cherché s'élève très-légèrement et atteint 28 p. 100 de l'étendue consolidée.

On doit se demander si le rapport est convenable, si le chiffre de 28 p. 100 n'est ni trop fort ni trop faible. L'expérience semble avoir prononcé d'une manière décisive quant à ce point.

Le rapport indiqué n'est pas trop fort. En effet, les travaux souterrains ont été commencés suivant un plan qui différait, à certains égards, du plan définitivement exécuté, et qu'il a fallu modifier, au commencement de 1873, à la suite de l'écrasement d'un certain nombre de piliers, sous l'emplacement où l'on se préparait à construire le réservoir de l'Ouest. La section totale des maçonneries d'après le projet n'atteignait pas tout à fait 8.500 mètres carrés. On a remédié à cette insuffisance en diminuant le nombre et la largeur des galeries d'inspection, en augmentant l'épaisseur des piliers en vue sur ces galeries et en les reliant par des murs, de manière à former une sorte d'armature sou-

terraine. Le résultat final a consisté dans une augmentation de 1/5 sur le cube et aussi sur la section totale des maçonneries, qui est montée de 8.500 à près de 10.000 mètres carrés. Le rapport de la surface devant être, d'après le projet primitif, occupée par les piliers souterrains à la superficie du réservoir, rapport qui était d'environ 23,5 p. 100, était donc trop faible, eu égard au mode d'exécution de l'ouvrage, puisque, avant toute construction à la surface, les piliers souterrains se montraient, sur une certaine étendue, insuffisants pour résister à la charge du terrain supérieur.

L'augmentation du cube des maçonneries, jointe aux modifications apportées au plan, a permis de reconstruire, dans de bonnes conditions, les piliers écrasés et qui ont été démolis, et de poursuivre, sans nouvel incident, l'exécution des piliers sous la vaste étendue à consolider. La construction postérieure des réservoirs et leur remplissage avec les eaux de la Vanne n'ont eu aucune influence visible sur les piliers de consolidation. Sur aucun point, depuis l'achèvement de l'ouvrage, les maçonneries souterraines, qui ont eu le temps de durcir, n'ont nécessité la moindre réparation. On est donc, semble-t-il, en droit de considérer le rapport de 28 p. 100, existant entre la section totale des piliers souterrains et la superficie occupée par les réservoirs, comme nécessaire et suffisant, dans les conditions qui ont présidé à ce grand travail.

Calcul de la charge des piliers souterrains. — Il n'est pas possible de déterminer avec une entière rigueur la charge que supportent les piliers de consolidation, parce que cette charge dépend de diverses circonstances, notamment du degré d'imperfection avec lequel les maçonneries souterraines sont calées sous le ciel de la carrière. Le tassement de ces maçonneries, en rapport avec leur hauteur et avec la nature des matériaux, la résistance des remblais circonvoisins, etc., jouent également un rôle qui n'est pas négli-

geable, mais dont l'appréciation ne paraît pas susceptible d'être traduite en formules mathématiques.

Ces divers éléments interviennent pour diminuer l'effort que supporteraient des piliers établis dans les conditions de perfection théorique, et pour reporter une fraction de la charge sur les étaux de masse, les piliers à bras et les remblais préexistant dans la carrière.

En les négligeant, on est conduit à une détermination de la charge des piliers supérieure à leur charge effective, par conséquent à une charge *maxima* qui n'en est pas moins intéressante à connaître.

En premier lieu, on doit admettre que les piliers souterrains (y compris les étaux de masse, lorsqu'il y en a) portent tout le poids de l'édifice. S'ils ne le portaient pas, c'est qu'ils auraient été construits d'une manière défectueuse, et ce poids, en venant comprimer les remblais, déterminerait un affaissement du sol que l'établissement des piliers a pour but de prévenir. Ainsi, la conservation parfaite de l'équilibre du sol, malgré la construction de l'édifice, a pour condition que le poids de cet édifice sera exclusivement supporté par les piliers souterrains.

Ce serait une pure illusion de croire que ce poids n'est transmis en profondeur que partiellement par le terrain supérieur à la carrière, par exemple lorsque ce terrain a une épaisseur de 20 à 30 mètres. Dans tous les cas où l'étendue de la superficie souterraine à consolider est notable par rapport à l'épaisseur du terrain de recouvrement, le ciel de la carrière, considéré dans son ensemble, supporte réellement le poids des constructions élevées à la surface. Il n'y a de réduction de la charge que dans une zone relativement resserrée, située au pourtour de l'ouvrage, correspondant aux points où les couches dont le terrain est formé s'infléchissent légèrement avant de se comprimer sous les fondations de l'édifice. En ces points, une partie du poids de la construction se transforme en efforts de trac-

tion, tendant à rompre la continuité des couches, et à disloquer le terrain. C'est seulement dans cette zone que le poids des constructions superficielles ne se transmet pas intégralement aux piliers souterrains. Son étendue dépend nécessairement de la cohésion et de l'épaisseur du terrain interposé entre l'édifice et la carrière. Mais elle est, suivant nos observations, beaucoup plus restreinte qu'on ne le pense communément. Elle n'est pas non plus proportionnelle à la profondeur de la carrière.

Eu égard à la vaste étendue des réservoirs, le rôle de cette zone de moindre pression est tout à fait négligeable. Et on le conçoit bien, si l'on remarque que le terrain, sousminé par l'exploitation souterraine, s'était déjà affaissé, au cours de cette exploitation, et qu'il comprend, par suite, de nombreuses fissures, dans tous les sens, visibles au ciel de la carrière. La grande majorité, sinon la totalité des piliers de consolidation construits sous les bassins porte donc réellement la charge correspondante des réservoirs.

Cette charge est moyennement, en fondation, de $1^k,33$ par centimètre carré, les bassins étant pleins d'eau. En divisant ce nombre par 0,28 (rapport de la section totale des piliers souterrains à la surface consolidée), on obtient $4^k,75$ pour la charge correspondante de ces piliers.

A cette charge provenant de l'édifice vient s'ajouter une partie de la charge du terrain dont la détermination offre moins de facilité, mais qui ne saurait être négligée, surtout quand la carrière se trouve à une notable profondeur. Ce que nous venons de dire du poids de l'édifice s'applique aussi au poids du terrain ; ce poids est supporté intégralement par le ciel de la carrière. Nous n'entrons pas, bien entendu, dans le détail des différences de charge qui existent d'un point à un autre, suivant que la partie considérée du ciel est supportée par un pilier de masse, par un remblai plus ou moins serré, ou est suspendue sur un espace vide ; et nous nous bornons à rechercher la charge moyenne

existant : 1° sur le ciel de la carrière avant les travaux de consolidation ; 2° sur les piliers construits dans les vides ou au milieu des anciens remblais.

L'épaisseur moyenne du terrain au-dessus de la carrière, à l'emplacement des réservoirs, était primitivement de 26 mètres. En comptant le poids du mètre cube pour 1.700 kilog., le poids d'un prisme de ce terrain ayant 1 mètre carré de base et 26 mètres de hauteur ressort à 44.200 kilog., ce qui donne $4^{k}1/2$ environ par centimètre carré. Cet effort subi par le ciel de la carrière a été transmis aux remblais. Comme ils occupaient à peine les $\frac{9}{10}$ de la carrière, les vides des anciennes galeries non comblées représentant l'autre dixième, leur charge s'est élevée à $\frac{10}{9} \times 4^{k},5 = 5$ kilog. par centimètre carré.

Telle est la pression considérable (près de 5 atmosphères) sous laquelle le terrain supérieur a comprimé les remblais laissés par les carriers. Cette compression a été accompagnée d'un affaissement progressif.

On constate très-aisément cet affaissement général du sol en visitant les carrières entièrement dépilées et en portant son attention sur les inclinaisons du toit, particulièrement le long des fronts de masse non écrasés. On voit alors, dans les anciennes carrières de pierre à bâtir de Paris, le toit s'affaisser sur une longueur de 10 à 20 mètres, en général de $0^{m},40$ à $0^{m},50$, pour venir reposer sur les remblais. Toutefois, le ciel est souvent brisé au ras de l'étau de masse et cesse de présenter la pente dont il s'agit. Mais, dans la plupart des cas, on peut reconstituer la hauteur primitive des piliers, les uns renversés, les autres écrasés, la plupart inclinés dans le sens du mouvement du terrain, et reconnaître ainsi la valeur de l'abaissement du sol causé par l'exploitation souterraine.

Cet abaissement est en rapport avec la quantité des rem-

blais, avec l'importance des piliers à bras et des hagues, et aussi avec le poids du terrain de recouvrement.

Sous l'emplacement des réservoirs, les anciens remblais (et sous cette désignation nous comprenons les piliers à bras et les hagues qui s'y trouvent en abondance) supportaient donc une charge de 5 kilog. par centimètre carré. Une fouille d'une profondeur moyenne de 5 mètres ayant été pratiquée sur cet emplacement dès l'ouverture des travaux de consolidation, à l'effet de recevoir au niveau voulu le radier des réservoirs, la charge sur le ciel de la carrière a diminué, à ce moment, de $5 \times 1.700 = 8.500$ kilog. par mètre carré, et s'est trouvée réduite à $3^k,57$ par centimètre carré du ciel et à 4 kilog. environ par centimètre carré des anciens remblais, circonstance favorable à l'exécution des fouilles souterraines nécessaires pour explorer et consolider la carrière. Il s'agirait de déterminer, en partant de ce chiffre, la part du poids du terrain supérieur que supportent les piliers de consolidation, et la difficulté consiste à savoir de quelle façon ce poids se trouve réparti, à la fin du travail, entre ces piliers et les remblais.

Si l'on admet que rien n'est venu modifier l'équilibre du sol, on reconnaît aisément que les piliers doivent porter la partie du terrain supérieur correspondant exactement à la superficie des fouilles exécutées dans les anciens remblais, soit pour les galeries d'exploration, soit pour y loger les piliers; et il n'y a pas lieu de tenir compte, pour cette détermination, des bourrages exécutés durant les travaux, parce que ces bourrages, si bien faits qu'ils soient, ne peuvent être mis en parallèle avec les anciens remblais comprimés sous une charge écrasante, ainsi que nous l'avons montré.

Les remblais enlevés mesurant une superficie de 14.100 mètres carrés, et la section totale des piliers (compris les rares étaux de masse) étant de 10.070 mètres carrés, la charge qui incombe aux piliers, dans cette hypothèse,

du chef du terrain, est de $\frac{14.100}{10.070} \times 4$ kilog. $= 5^{k},60$ par centimètre carré.

Tel est l'effort auquel les piliers doivent résister pour porter le terrain, indépendamment de l'édifice, si l'on suppose que la charge des anciens remblais est demeurée exactement, comme avant, de 4 kilog. par centimètre carré.

Par suite la charge totale, tendant à écraser les piliers souterrains, s'obtient en additionnant :

	kilogrammes.
1° La charge des réservoirs égale à.	4,75
2° La charge théorique du terrain, égale à.	5,60
Charge totale.	10,35

Telle est la charge théorique, telle que le calcul la fournit, en éliminant tous les éléments qui tendent à soulager les piliers ; c'est l'effort moyen *maximum*.

L'effort effectif est moindre, parce qu'il se produit un léger tassement des maçonneries, dont l'effet est de reporter une partie de la charge sur les remblais au milieu desquels les piliers sont enterrés ou devant lesquels ils sont construits, et sur les nombreuses hagues, maçonneries en moellons secs, établies dans ou devant les bourrages, dont nous avons fait abstraction dans le calcul précédent, et dont le cube représente environ $\frac{1}{10}$ de celui des maçonneries à mortier. Il peut aussi se produire des tassements des remblais pendant l'exécution des fouilles, tassements sans inconvénients lorsqu'ils précèdent la construction de l'édifice, et qui déchargent d'autant les piliers.

En admettant, pour ces causes réunies, une réduction de la charge théorique des piliers de 1, 2 ou même de 3 kilog. par centimètre carré, on trouve encore que ces piliers ont à supporter un effort très-important.

Cet effort dépasse sensiblement la limite habituelle admise pour les constructions en moellons élevées à la surface du sol. Il approche très-près de la limite pratique de résis-

tance à l'écrasement des matériaux employés. Si cette limite n'a été atteinte et dépassée que sur un très-petit nombre de points, où des moellons isolés, généralement moins durs que les autres, se sont fendus et ont dû être remplacés, menues réparations qui ont été exécutées en terminant les travaux souterrains, on doit en attribuer le mérite principalement à l'humidité constante de la carrière qui est très-favorable au durcissement et à la conservation des mortiers de chaux hydraulique.

Importance relative des consolidations sous d'autres édifices. — L'étude à laquelle nous venons de nous livrer montre bien qu'on s'est tenu, quant au cube des maçonneries souterraines, dans les limites du strict nécessaire, étant donnés le système de consolidations à suivre et la nature des matériaux employés; et qu'on n'aurait pu réduire la fraction 0,28 qui marque le rapport existant entre la section totale des piliers souterrains et la superficie des réservoirs.

A cet égard, aucun précédent ne peut être utilement consulté. Il n'existe pas un seul édifice aussi pesant proportionnellement que les réservoirs, avec leur contenu de 300.000 mètres cubes d'eau, qui ait jamais été fondé sur un sol miné par des carrières. Les plus importants, dans Paris, sont : l'église et les bâtiments du Val-de-Grâce, l'Observatoire, la prison des Madelonnettes, dont aucun ne se prête à la comparaison. La prison des Madelonnettes a été fondée, à grands frais, sur des colonnes de béton. Quant à l'Observatoire et au Val-de-Grâce, ils sont assis sur des carrières exploitées avec de nombreux piliers réservés; et on ne connaît qu'imparfaitement l'épaisseur des importants massifs de maçonnerie qu'on y a construits pour renforcer ces piliers.

Les maisons particulières, les bâtiments ordinaires, lorsque leur emplacement est miné par une carrière, nécessitent des ouvrages de consolidation. L'absence de ces ou-

vrages détermine souvent des dislocations, des fissures graves et quelquefois la ruine entière de l'édifice. Lorsque la carrière est entièrement dépilée et remblayée, comme sous les réservoirs, on donne communément aux piliers souterrains, à moins d'une circonstance particulière, une section totale égale au quart ou au cinquième de la surface à couvrir, et l'expérience a sanctionné cette pratique. Mais cette fraction est augmentée pour les édifices plus importants. Ainsi, sous le groupe scolaire de la rue Vendrezanne (13ᵉ arrondissement), dont l'étendue consolidée mesure 1.060 mètres carrés, le rapport des deux surfaces est de 0,21. Sous la nouvelle mairie du même arrondissement, place d'Italie, qui occupe une superficie de 854 mètres carrés, le même rapport est de 0,37. Dans les deux cas, la carrière se trouve à une profondeur d'environ 17 mètres.

Il serait aisé de citer des bâtiments de médiocre importance, consolidés d'une manière moins complète, sous lesquels on a donné une section relative moindre aux piliers souterrains. Un grand nombre de maisons, à Paris, sont même fondées au-dessus de carrières que nul n'a songé à consolider d'aucune façon. Mais aussi, ces édifices, généralement d'ailleurs de construction très-légère, ne sont pas à l'abri des lézardes occasionnées par l'affaissement progressif du sol; ils sont exposés à une ruine prématurée.

Rapport du plein au vide dans les carrières exploitées par piliers. — Il est instructif, à cet égard, d'étudier la section des piliers de masse existant dans les carrières de calcaire grossier non remblayées, où les vides présentent les plus grandes étendues par rapport au plein. L'exemple le plus connu et un des plus frappants est fourni par les carrières converties en ossuaire municipal, spécialement désignées sous le nom de Catacombes, dans le 14ᵉ arrondissement, et dont la profondeur au-dessous du sol est de 17 mètres. Le rapport de la section totale des piliers de

masse à l'étendue de l'ossuaire est de 24 p. 100. Un certain nombre de piliers en maçonnerie ont dû être ajoutés aux piliers naturels pour assurer la sécurité. D'autres carrières offrent des rapports analogues de 28, de 30 et même de 40 p. 100, soit en moyenne d'un tiers de masse réservée pour deux tiers de masse exploitée. Dans ces conditions, les carrières dans lesquelles on a laissé des piliers régulièrement espacés offrent, comme les carrières dépilées, et même à un plus haut degré, les dangers résultant de la production des fontis; mais l'affaissement général du terrain supérieur ne pourrait se produire qu'avec l'écrasement des piliers.

Importance et coût des travaux sous les réservoirs. — Il nous reste à indiquer, en terminant, le montant des dépenses afférentes à la consolidation de la carrière sous l'emplacement des réservoirs.

Précisons d'abord les cubes des principaux ouvrages. Les maçonneries en moellons avec mortier de chaux hydraulique, forment un cube de 21.316 mètres cubes, les maçonneries à sec, en moellons smillés, un cube de 721 mètres cubes, non compris les hagues exécutées dans les bourrages à la distance moyenne de $1^m,50$ les unes des autres. Le cube des fouilles exécutées dans les anciens remblais s'est élevé à 32.161 mètres cubes; on a, de plus, déblayé 1.352 mètres cubes de terres meubles, non tassées, ne touchant pas le ciel de la carrière, et 866 mètres cubes de terres ébouleuses, particulièrement celles contenues dans les cinq cloches de fontis.

Il a été exécuté 11.865 mètres cubes de bourrages, au pilon et à la barre, dans les anciennes rues de carrière et dans les fouilles conduisant aux emplacements des piliers. Ces bourrages se sont étendus dans les vides souterrains rencontrés dans le voisinage immédiat des réservoirs, en dehors de leur périmètre. A une distance plus grande, les terres, formant un cube de 4.332 mètres cubes, ont été

simplement déposées et relevées à la pelle jusqu'au toit de la carrière. Le surplus des terres provenant des fouilles a été monté au jour, chargé en tombereau et conduit aux décharges publiques.

A ces travaux principaux s'ajoutent l'ouverture et le comblement ultérieur des puits de service, l'exécution de nombreux sondages, d'un puits absorbant et de rigoles pour se débarrasser des eaux d'infiltration, le calfeutrage au ciment des fentes les plus importantes du ciel de la carrière, la pose et la dépose de nombreux étais en chêne formant un cube total de 342 mètres cubes, etc.

Les prix alloués à MM. Trié et Lazies ont été pour les maçonneries à mortier de chaux hydraulique de $22^{f},40$ en fondation, et de 24 francs en élévation, avec réduction de 2 francs à $2^{f},50$ pour les massifs, au delà de 1 mètre d'épaisseur. Le calage de la maçonnerie sous le ciel de la carrière comportait une plus-value fixée à $1^{f},50$ par mètre carré de section horizontale.

Les fouilles ont été payées $1^{f},50$ le mètre cube dans les remblais comprimés de la carrière; $0^{f},60$ dans les remblais non tassés, et 3 francs dans les parties ébouleuses où la pose des étais, pied à pied, ralentissait le travail.

Les bourrages, avec l'emploi du pilon et de la barre, ont été payés $1^{f},40$ le mètre cube, en comprenant dans ce prix la façon des hagues en moellons, à distance prescrite de $1^{m},50$ au plus les unes des autres.

Tous ces prix comprenaient expressément l'éclairage souterrain, l'emmétrage des moellons lors de leur réception, les frais de tracé des ouvrages et généralement toutes les menues dépenses et tous les faux frais des entrepreneurs. Ceux-ci étaient assujettis à un cahier des charges spécial, et, en outre, pour toutes les dispositions générales, aux clauses et conditions imposées aux entrepreneurs des ponts et chaussées et arrêtées par M. le ministre des travaux publics, le 16 novembre 1866.

La dépense totale des consolidations s'est élevée à 917.076f,82. En en déduisant les frais de l'escalier, en pierre de taille, donnant accès dans la carrière, le coût des consolidations est en nombre rond de 909.000 francs.

Si l'on divise cette somme par la superficie consolidée égale à 36.000 mètres, on trouve que le prix de revient du mètre carré est de 25f,25.

D'après la note manuscrite de M. Huet, ingénieur en chef des ponts et chaussées, précédemment citée, les réservoirs coûtent en totalité 7 millions, sur lesquels il faut compter plus de 1 million d'acquisitions de terrains.

Ils reviennent donc à environ 190 francs par mètre carré de superficie totale, et à 23f,30 par mètre cube d'eau emmagasinée.

Les eaux dérivées de la Vanne sont arrivées dans la bâche annexe des réservoirs le 12 août 1874 et ont été distribuées directement dans Paris par la conduite de 0m,80. Elles ont été mises dans le compartiment ouest supérieur le 22 décembre suivant, et, depuis le 6 novembre 1875, les quatre compartiments sont en service.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

EXÉCUTÉS

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX.

I. — LABORATOIRE DE MÉZIÈRES.

Travaux de M. NIVOIT, ingénieur des mines. (EXTRAIT.)

PREMIÈRE PARTIE. — Années 1872-1873.

PHOSPHATES DE CHAUX DE LA CRAIE.

Nous avons visité, dans le courant du mois de juillet 1873, un gîte important de phosphate de chaux fossile, qui se trouve tout à fait à la partie supérieure de la craie, dans les environs de Mons (Belgique), au-dessus, par conséquent, des niveaux auxquels cette substance a été exploitée jusqu'à présent dans le terrain crétacé.

On sait que, dans le Hainaut, *la craie blanche avec silex* ou *système senonien*, est recouverte par la *craie grise*, le *poudingue de Cépiy* et la *craie tufeau de Maestricht*.

Le poudingue est formé surtout par des nodules de couleur brunâtre, de grosseur variant de celle d'un pois à celle du poing, dont la surface est irrégulière, quelquefois perforée, et qui sont cimentés par une pâte calcaire de dureté variable; tantôt ils sont complétement empâtés, tantôt on les dégage assez bien de la masse; on trouve en outre, dans ce conglomérat, des morceaux de craie durcie du terrain inférieur et des fossiles qui, d'après MM. Cornet et Briart, sont principalement des gastéropodes, des lamellibranches, des brachiopodes ou des oursins.

L'épaisseur du poudingue est assez variable; elle est en moyenne de $0^m,60$ et dépasse rarement $1^m,50$. Il forme quelquefois deux et

même plusieurs couches distinctes, dont l'allure n'est pas toujours régulière.

Les nodules, séparés avec soin du ciment, nous ont donné, à l'analyse chimique, les résultats suivants :

Perte par calcination	25,55
Sable et argile	1,30
Oxyde de fer	0,90
Chaux	51,60
Acide phosphorique	20,35
Acide sulfurique	0,12
Chlore	0,25
Fluor	0,18
	100,25

L'acide phosphorique constaté correspondrait à 44.42 de phosphate de chaux tribasique.

La matière organique contient 0,35 d'azote, dont une partie est à l'état de sel ammoniacal.

Passons maintenant à la craie grise, sur laquelle repose parfois le poudingue de Céply : cette craie a une puissance très-variable ; elle fait même souvent défaut, et alors le poudingue et le tufeau sont placés directement sur la craie blanche. Dans les environs de Céply, son épaisseur maximum est de 30 mètres. A la partie supérieure, elle est d'une texture grossière, assez friable, se désagrége facilement entre les doigts, sauf au contact du poudingue, où elle devient compacte et tenace; à la partie inférieure, elle est également assez tenace et renferme des lits irréguliers de silex.

La craie grise contient de petits grains bruns, du volume d'une petite tête d'épingle, qui ne sont autre chose que du phosphate de chaux, mélangé à du carbonate de chaux, d'une constitution analogue à celle des nodules du poudingue de Céply. La proportion moyenne de ces grains, dans la roche, est de 75 p. 100.

Un échantillon de craie grise, recueilli dans la partie moyenne de la formation, a présenté la composition suivante :

Perte par calcination	31,00
Sable et argile	2,10
Oxyde de fer	1,10
Chaux	54,00
Acide phosphorique	11,13
Perte et matières non dosées	0,67
	100,00

Les 11,13 d'acide phosphorique correspondent à 24,30 de phosphate de chaux tribasique.

Les phosphates fossiles des environs de Mons diffèrent complétement de ceux que l'on exploite dans le terrain crétacé des Ardennes et de la Meuse; mais ils présentent une remarquable similitude d'aspect et de composition chimique avec les nodules gris blanchâtre que M. Meugy, ingénieur en chef des mines, a signalés, à la base de la craie blanche, notamment près du tunnel de Perthes (département des Ardennes).

Voici en effet quelle est la composition chimique de ces nodules, d'après l'analyse que nous en avons faite :

Perte par calcination	25,10
Argile et sable	1,65
Oxyde de fer	1,20
Chaux	50,89
Acide phosphorique	21,10
Chlore	0,14
	100,08

Phosphate de chaux correspondant : 46,06.

Le fluor n'a pas été dosé; il a été constaté qualitativement.

La matière organique contient 0,25 d'azote.

La composition des nodules de Céply et de Perthes est un nouvel argument en faveur de la théorie qui consiste à expliquer la formation des nodules du terrain crétacé par l'introduction dans les couches, encore molles ou en voie de dépôt, d'eaux chargées de phosphate de chaux. Les rognons résultant de la précipitation et de la concrétion du phosphate ne doivent être autre chose, d'après cette manière de voir, que des portions du terrain qui les contient, agglomérées par un ciment phosphaté, et c'est en effet ce que l'on observe. Ainsi les nodules des sables verts renferment de l'argile, du sable, des grains de glauconie et des grains ferrugineux; les nodules de la gaize sont plus homogènes et présentent quelquefois des fragments de gaize empâtés; les nodules de la craie blanche sont très-riches en carbonate de chaux.

FARINES PHOSPHATÉES DE SAINTE-MARIE ET DE GRANDPRÉ (Ardennes).

Pour déterminer la richesse des phosphates fossiles, on emploie souvent une méthode, dite *d'analyse commerciale*, qui consiste à attaquer les nodules pulvérisés par l'acide chlorhydrique étendu, à verser dans la liqueur filtrée un excès d'ammoniaque, à peser le précipité lavé, séché et calciné, et à considérer tout ce précipité comme du phosphate de chaux.

On ne saurait trop blâmer cette méthode défectueuse qui fait

commettre les erreurs les plus grossières et les plus préjudiciables aux intérêts des cultivateurs; car outre du phosphate de chaux et de fer, seule matière fertilisante, le précipité contient toujours de l'oxyde de fer, de l'alumine, de la silice et un peu de carbonate de chaux, matières sans valeur agricole. Par l'application de ce procédé, on ouvre, de plus, la porte à la fraude, en donnant aux industriels malhonnêtes la faculté de broyer des nodules imparfaitement nettoyés, ou même de mêler à la farine des substances précipitables par l'ammoniaque.

Pour l'essai des nombreux échantillons de phosphates fossiles qui sont envoyés au laboratoire départemental de Mézières, nous employons une méthode simple et rapide qui permet de donner, avec une approximation de 1/4 à 1/2 p. 100, la teneur en acide phosphorique. Voici quel est ce procédé :

On attaque un gramme de nodules en poudre fine par l'acide chlorhydrique étendu, on fait chauffer, on évapore à sec, on calcine légèrement à 100 degrés pour rendre insoluble la silice provenant de l'attaque partielle de l'argile ou de la glauconie, et l'on reprend par l'acide chlorhydrique étendu. On filtre, et, dans la liqueur claire, on précipite par l'ammoniaque le phosphate de chaux, l'oxyde de fer, l'alumine, etc.; on verse, goutte à goute, une dissolution concentrée et chaude d'acide citrique, jusqu'à ce que le précipité disparaisse complétement; on ajoute ensuite un léger excès de cette dissolution. En rendant de nouveau la liqueur ammoniacale, on ne doit plus former de précipité; c'est à ce caractère que l'on reconnaît que l'acide citrique est en proportion suffisante. On ajoute alors du sulfate de magnésie ammoniacal et l'on agite; tout l'acide phosphorique se précipite lentement à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, en grains cristallins. Au bout de douze heures, on filtre, on lave le précipité à l'eau ammoniacale, on le calcine et on le pèse. En multipliant son poids par 0,633, on en déduit la proportion d'acide phosphorique.

Pour montrer quelle importance peuvent atteindre les erreurs auxquelles donne lieu la méthode d'analyse commerciale, nous citerons les résultats que nous avons obtenus sur deux échantillons présentant la composition suivante :

	(1)	(2)
Eau et matières organiques.	6,45	10,45
Sable et argile.	27,00	35,75
Acide phosphorique.	17,28	10,13
Autres matières (par différence).	49,27	43,67
	100,00	100,00
Phosphate tribasique correspondant. . .	37,72	22,11

Par l'analyse commerciale on trouve :

	(1)	(2)
Phosphate	50,20	31,70

Le premier échantillon est des environs de Grandpré : il appartient au gisement des sables verts inférieurs à la gaize, que l'on exploite activement dans le département des Ardennes; avant d'être envoyés aux moulins de pulvérisation, ces nodules sont lavés avec soin et débarrassés à peu près complétement de l'argile et des sables adhérents. Quant aux nodules n° 2, ils proviennent de Sainte-Marie et se trouvent dans les sables verts supérieurs à la gaize; ils ne sont exploités que sur une faible échelle dans les environs de Vouziers et sont soumis à la mouture avec une assez forte proportion d'argile sableuse, dont il est à peu près impossible de les séparer, à cause de leur grande friabilité; c'est pourquoi la richesse de la farine qu'ils fournissent est plus faible que celle des autres nodules.

On voit que les nombres donnés par la méthode de l'analyse commerciale, non-seulement sont de beaucoup supérieurs à ceux que nous avons obtenus par la méthode exacte, mais n'ont avec eux aucun rapport, puisque pour les nodules de Grandpré, il y a un excédant de 33 p. 100 et pour ceux de Sainte-Marie de 43 p. 100. Nous devons dire que ces échantillons sont exceptionnellement riches en oxyde de fer et en alumine, et qu'en général, l'excédant n'est pas si élevé; il se renferme entre les limites de 10 à 30 p. 100.

Nous avons fait quelques expériences comparatives sur ces nodules, qui sont pulvérisés au moulin de Saint-Irénée, près d'Attigny. Soumises à la lévigation, les farines donnent :

	(1)	(2)
Sable	69,80	49,40
Matières ténues	30,20	50,60
	100,00	100,00

et au tamisage :

Matières restées sur le tamis de soie n° 1.	4,50	6,50
Matières restées sur le tamis de soie le plus fin	47,00	40,50
Matières très-fines	48,50	53,00
	100,00	100,00

On voit que la farine phosphatée de Sainte-Marie, quoique produite dans les mêmes conditions que celle de Grandpré, est plus fine. C'est un fait qu'il était aisé de prévoir, puisque les nodules de Sainte-Marie, mêlés d'argile sableuse, sont plus faciles à moudre

que ceux de Grandpré; mais cet avantage est plus que compensé par la teneur plus faible en acide phosphorique.

Nous avons recherché l'acide phosphorique contenu dans le sable laissé à la lévigation. Nous avons trouvé :

	(1)	(2)
Acide phosphorique	18,70	12,04

d'où l'on déduit, pour 100 parties de farine :

Acide phosphorique du sable	13,05	5,95
Acide phosphorique des matières très-fines	4,23	4,18
	17,28	10,13

Ces essais montrent que, contrairement à l'opinion généralement répandue, l'acide phosphorique est plus abondant dans la partie grossière des farines que dans la partie ténue. Il en résulte que, quand on blute les farines, il faut avoir soin de repasser entre les meules les résidus de blutage et de les mêler aux produits obtenus.

Voici enfin quelques chiffres qui complètent les propriétés physiques de ces nodules :

	(1)	(2)
Densité	2,76	2,69
Poids du mètre cube	1.466[k]	1.296[k]
Eau absorbée par 100 parties	34,00	32,50

NODULES PHOSPHATÉS DES SABLES VERTS DE LA MEUSE.

Échantillons recueillis dans la couche des sables verts du département de la Meuse.

	(1)	(2)	(3)	(4)
Perte par calcination	15,00	9,60	10,50	8,00
Sable et argile	27,98	23,80	31,03	39,80
Acide phosphorique	18,72	22,03	18,78	16,30
Acide sulfurique	»	2,12	0,89	0,92
Oxyde de fer	4,30	11,30	15,65	10,60
Chaux	31,00	29,33	20,80	22,00
Magnésie	2,10	traces	traces	0,89
Perte et matières non dosées	0,90	1,81	2,35	1,49
	100,00	100,00	100,00	100,00
Phosphate de chaux correspondant	40,86	48,09	41,00	35,58

1) Les Islettes.
2) Louppy-le-Château.
3) Andernay.
4) Beurey.

La matière organique qui disparaît à la calcination est azotée et, comme dans les nodules de la craie, une partie de l'azote est à l'état de combinaison ammoniacale.

Nous avons constaté que les échantillons 1 et 3 contiennent respectivement 0,4 et 0,3 p. 100 d'azote. Cette proportion a son importance et elle ne doit pas être négligée dans l'évaluation de la valeur agricole des phosphates de chaux fossiles.

Il faut aussi tenir compte de la potasse contenue dans la glauconie qui accompagne toujours les nodules, en plus ou moins forte proportion. Quoique cette matière fertilisante soit engagée dans une combinaison silicatée, la glauconie est assez facilement décomposable pour qu'elle puisse agir sur la végétation. Nous avons dosé la potasse seulement dans l'échantillon n° 1. Nous en avons trouvé 0.60 p. 100.

La proportion relativement forte d'acide sulfurique que contiennent les échantillons 2, 3, 4 s'explique par la présence, au toit et au milieu de la couche, d'un petit lit continu de gypse.

NODULES PHOSPHATÉS DE LA GAIZE.

On sait que les nodules phosphatés qui se trouvent à la base de la gaize sont les plus riches du terrain crétacé. Voici quelle est la teneur en acide phosphorique d'un certain nombre d'échantillons provenant des départements des Ardennes et de la Meuse :

COMMUNES.	SITUATION des carrières.	ACIDE phosphorique p. 100.	PHOSPHATE de chaux tribasique correspondant.
Grandpré. . . .	Bois de Bourgogne.	22,93	50,06
Id.	Bois de Négremont.	31,00	67,67
Marcq.	La Folie.	18,65	40,71
Id.	Id.	23,94	52,26
Id.	La Besogne.	25,83	56,39
Id.	Id.	23,00	50,21
Apremont. . . .	Ravin de la Croisette.	24,25	52.94
Id.	Id.	19,62	42,83
Id.	Divers points du territoire. . .	24,41	53,29
Id.	Id.	25,45	55,56
Montblainville. .	Id.	24,70	53,92
Id.	Id.	23,81	51.98
Varennes.	Le bas Jardinet.	24,07	52,54
Boureuilles. . . .	Près du ruisseau de Cheppe. .	19,34	42,22
	Moyenne.	23,64	51,61

MARNES DE CHAUMONT-PORCIEN.

Échantillon de marne gris pâle de l'étage des marnes crayeuses recueilli à 1 kilomètre ouest de Chaumont-Porcien. Elle donne lieu à des terres fortes, difficiles à labourer, qui cependant ne sont pas trop humides et sèchent assez vite :

Eau	3,50
Sable et agile	45,72
Silice	2,30
Alumine et oxyde de fer	4,45
Cabonate de chaux	43,19
Carbonate de magnésie	0,84
Acide phosphorique	traces
	100,00

MARNE D'ADON.

Échantillon de marne glauconieuse, inférieure à la précédente, recueilli entre Givron et Adon, sur la rive droite du ruisseau de la Planchette.

Eau	3,10
Sable et argile	38,80
Silice	2,70
Alumine et oxyde de fer	4,25
Carbonate de chaux	51,15
Acide phosphorique	traces
	100,00

Cette marne, de même que la précédente, convient très-bien pour l'amendement des terres.

NODULES PHOSPHATÉS DES MARNES CRAYEUSES.

Échantillons recueillis par M. Foucault, garde-mines, *au-dessus de la marne grise* qui forme la base des Monts de craie, dans l'arrondissement de Rethel. Ces nodules sont riches en acide phosphorique, mais ils ne paraissent pas former une couche assez régulière pour donner lieu à une exploitation avantageuse.

	(1)	(2)
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique	7,50	7,80
Acide phosphorique	20,29	26,77
Phosphate de chaux correspondant	44,29	58,32

(1) Près du hameau des Fondys, le long du chemin qui va de Fondys rejoindre la route de Draize à Givron.

(2) Territoire de la Romagne entre la Place à Alys, Mauroy et la Plaisotterie.

NODULES PHOSPHATÉS DE LA CRAIE BLANCHE.

Échantillons des nodules, découverts par M. Meugy, ingénieur en chef des mines, *à la base de la craie blanche*, près du tunnel de Perthes (ligne de Charleville à Reims).

Perte par calcination	25,10
Argile et sable	1,65
Acide phosphorique	21,10
Chlore	0,14
Oxyde de fer	1,20
Chaux	50,89
	100,08

L'acide phosphorique correspond à 46.06 de phosphate de chaux tribasique.

Le fluor a été constaté qualitativement.

Enfin nous avons trouvé dans ces nodules 0.19 p. 100 d'azote en partie à l'état de combinaison ammoniacale.

Ces nodules sont assez riches; malheureusement la couche, qui jusqu'à présent a été d'ailleurs peu explorée, ne paraît pas très-régulière.

PHOSPHO-GUANOS.

Quatre échantillons de phospho-guanos vendus avec garantie de teneur ont été déposés au laboratoire de chimie de Mézières pour être vérifiés, les deux premiers par M. le marquis de Wignacourt, président du comice agricole de l'arrondissement de Mézières; les deux autres, par M. Mathy (Henri), marchand d'engrais à Poix. Les échantillons nos 1 et 3 sont d'aspect semblable; ils sont agglomérés, de couleur grisâtre, et dégagent à la calcination une odeur de corne brûlée, en même temps que des fumées blanches de sels ammoniacaux; les nos 2 et 4 sont blancs, pulvérulents et donnent des vapeurs ammoniacales plus abondantes :

	(1)	(2)	(3)	(4)
Humidité	17,73	12,63	13,50	11,20
Matières volatiles	22,52	14,85	28,50	23,55
Sable et argile	8,96	12,69	10,63	17,95
Acide phosphorique	12,85	16,15	11,30	11,55
Acide sulfurique	11,82	14,72	12,81	13,53
Chlore	0,40	0,10		
Oxyde de fer et alumine	13,77	19,12		
Chaux	11,77	9,55	23,26	22,22
Magnésie	traces	traces		
Perte et matières non dosées	0,18	0,19		
	100,00	100,00	100,00	100,00
Phosphate tribasique correspondant	28,05	35,25	24,67	25,21

Les matières volatiles contiennent :

	(1)	(2)	(3)	(4)
Azote des sels ammoniacaux	0,87	2,20	0,70	2,21
Azote organique	3,23	0,50	2,30	1,66
Azote total	4,10	2,70	3,00	3,87

Nous avons dosé l'azote total en décomposant 1 gramme d'engrais par la chaux sodée et recevant l'ammoniaque formée dans une dissolution titrée d'acide oxalique, et l'azote des sels ammoniacaux à l'aide de l'appareil de M. Schlesing, dans lequel l'ammoniaque mise en liberté par la potasse, est absorbée par de l'acide sulfurique étendu et titré.

Nous pouvons, à l'aide des chiffres de l'analyse, nous rendre compte de la valeur vénale de ces engrais. Il faut d'abord observer que l'azote et l'acide phosphorique se trouvent chacun sous deux états chimiques distincts. L'azote des sels ammoniacaux, étant plus facilement assimilable que celui de la matière organique, a une plus grande valeur agricole. M. Grandeau, directeur de la station agronomique de l'Est, et les principaux agronomes admettent que sous le premier état cette substance vaut 3 francs, et sous le second 2f,50 le kilogramme. De même pour l'acide phosphorique, la partie mise en liberté par l'acide sulfurique employé pour le traitement vaut 1f,25, tandis que l'autre partie qui est insoluble comme dans les poudres d'os, les guanos bruts, les phosphates fossiles, etc., ne vaut que 0f,80 le kilogramme. On calcule comme teneur moyenne 1 kilog. d'acide phosphorique soluble pour 1k,5 d'acide sulfurique anhydre ; on n'aura donc qu'à diviser par 1,5 la quantité indiquée d'acide sulfurique pour obtenir la teneur à peu près exacte, en acide phosphorique soluble ; le reste est de l'acide insoluble.

Les quatre échantillons analysés valent par conséquent, par 100 kilog. :

	(1)	(2)	(3)	(4)
Azote ammoniacal	2,61	6,60	2,10	6,63
Azote organique	8,08	1,25	5,75	4,15
Acide phosphorique soluble	9,85	12,26	10,67	14,27
Acide phosphorique insoluble	3,98	5,07	2,21	2,07
Total	24,52	25,18	20,73	24,12

Dans notre analyse, nous avons pu négliger, sans erreur sensible, la potasse, qui n'entre dans ces engrais qu'en faible proportion, et qui d'ailleurs ne vaut pas plus de 0f,80 le kilogramme.

BOULES GRAISSEUSES DE LA SUCRERIE DE TIVOLI.

A la sucrerie de Tivoli (Charleville), les vapeurs d'échappement des machines sont utilisées, comme dans la plupart des sucreries, pour le chauffage de l'appareil à triple effet. Dans le réservoir où elles sont recueillies, il se forme des boules noirâtres, à couches concentriques, à l'aspect gras et luisant intérieurement, dont le diamètre varie de quelques centimètres à 0^{m},35.

Ces boules, soumises à l'analyse, ont présenté la composition chimique suivante :

Matières grasses	37,00
Sable et argile	5,44
Alumine	1,20
Oxyde de fer	5,20
Oxyde de cuivre	1,05
Carbonate de chaux	44,81
Carbonate de magnésie	0,72
Sulfate de chaux	3,28
	98,70

Pour doser la matière grasse, nous avons attaqué la substance avec de l'acide sulfurique étendu et bouillant, et nous avons ajouté un poids déterminé de stéarine qui l'a complétement absorbée. Cette graisse provient du mélange d'huile et de suif qu'on emploie pour le graissage des pistons. On voit que dans le parcours des cylindres au réservoir de vapeur, elle a attaqué les tuyaux d'échappement, qui sont en cuivre.

Quant aux substances minérales des boules, c'est l'eau d'alimentation qui les a fournies. On sait depuis longtemps que, pour obtenir de l'eau distillée pure, il faut arrêter la distillation au moment où les sels tenus en dissolution dans l'eau commencent à se déposer, car si l'on prolonge l'opération, l'eau distillée peut contenir de petites quantités de ces mêmes sels, entraînés mécaniquement ou même décomposés.

Dans l'usine de Tivoli, l'entraînement s'est manifesté jusqu'à une grande distance des générateurs, car, des générateurs au réservoir, la vapeur parcourt un trajet long et sinueux. Cet effet mécanique a surtout porté sur l'argile, le sable, l'oxyde de fer et le carbonate de chaux, matières qui restent à l'état pulvérulent; tandis que le sulfate de chaux, qui donne lieu à des dépôts incrustants, reste presque entièrement dans les chaudières. Il est facile de s'en convaincre par la comparaison de l'analyse précédente avec celle des dépôts de chaudière que nous donnons ci-après :

Eau et matières organiques	6,20
Sable et argile	8,07
Oxyde de fer et alumine	5,80
Carbonate de chaux	56,40
Carbonate de magnésie	0,30
Sulfate de chaux	23,23
	100,00

Les générateurs de Tivoli sont alimentés avec l'eau de condensation des vapeurs, à laquelle on ajoute environ un quart d'eau de la Meuse. Cette eau contient toujours des matières limoneuses en suspension, et c'est ce qui explique la proportion relativement considérable d'argile, de sable et d'oxyde de fer des dépôts.

DEUXIÈME PARTIE. — Année 1876.

(EXTRAIT.)

1° *Nodules phosphatés en poudre, de Sorcy* (Ardennes). — Échantillon de nodules pulvérisés au moulin de Sorcy, vendus par M. Payen.

Perte par calcination	8,50
Argile et sable	37,50
Acide phosphorique	16,14
Chaux, magnésie, alumine, oxyde de fer	37,86
	100,00
Phosphate tribasique correspondant	35,23

2° *Phosphate acide.* — M. Fagot, propriétaire à Mazerny, vice-président du Comice agricole de Mézières, a préparé, en 1873, du phosphate acide, à l'aide de nodules de Sorcy, dont nous avons donné ci-dessus la composition, de tourteaux de colza et d'acide sulfurique. Voici comment était composé le mélange et quel en était le prix de revient :

	francs.
20 kilog. acide sulfurique à 66°, à 16 francs	3,20
62 kilog. nodules de Sorcy à 5 francs rendus à Mazerny	3,10
6 kilog. tourteaux de colza pulvérisés à 18 francs	1,08
12 kilog. eau	0,00
Manipulation	0,50
Totaux 100 kilog	7,88

En ajoutant 1/7 pour l'évaporation qui s'est produite depuis la

préparation de cet engrais, le prix de revient s'élève à 9 francs le quintal, le prix d'achat des nodules étant de 4 francs.

L'acide phosphorique se trouve, dans cette matière, sous trois états chimiques bien distincts. On sait que, par suite de l'action de l'acide sulfurique, une partie de l'acide phosphorique est mise en liberté et devient ainsi soluble dans l'eau, mais que cette quantité diminue ensuite peu à peu, à cause de la régénération d'une certaine proportion de phosphate bibasique, produit par l'action de l'acide libre sur la chaux. Le phosphate régénéré ou rétrogradé a plus de valeur que le phosphate primitif non attaqué.

On a ainsi : 1° de l'acide phosphorique soluble dans l'eau, qui vaut 1f,25 le kilogramme; 2° de l'acide rétrogradé à 0f,80; 3° de l'acide insoluble, contenu dans la partie restée inattaquée par l'acide sulfurique, à 0f,25.

Nous avons suivi, pour l'analyse, la méthode indiquée par M. Joulie. On attaque la matière, bien pulvérisée, par une solution froide et concentrée de citrate d'ammoniaque ammoniacal qui dissout tout l'acide phosphorique soluble ou rétrogradé. L'acide soluble étant obtenu en épuisant la matière par l'eau chaude, on a l'acide rétrogradé par différence. Enfin, en dosant l'acide phosphorique total, on a encore par différence l'acide insoluble.

Nous avons obtenu, pour la composition du phosphate acide préparé par M. Fagot, les résultats suivants :

Acide phosphorique soluble dans l'eau	3.80
— rétrogradé	3,16
— insoluble	4,69
Acide phosphorique total	11,65
Azote	0,30
Acide sulfurique	17,54
Argile et sable	28,30

Ces chiffres nous permettent d'apprécier la valeur vénale de l'engrais.

3k,80 acide phosphorique soluble à 1f,25	4,75
3 ,16 acide phosphorique rétrogradé à 0,80	2,53
4 ,69 — insoluble à 0,25	1,17
0 ,30 azote insoluble à 2 p. 100	0,75
	9,20

C'est un chiffre légèrement supérieur au prix de revient.

3° *Marnes glauconieuses du terrain crétacé de Saint-Jean-au-Bois* (arrondissement de Réthel).

	1	2
Eau hygrométrique	1,60	1,60
Perte par calcination	21,90	26,50
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique	27,10	35,22
Silice soluble dans la potasse	13,00	5,04
Oxyde de fer	8,40	3,44
Alumine	2,80	2,56
Chaux	23,87	24,40
Magnésie	0,20	tr.
Acide sulfurique	0,33	0,41
Acide phosphorique	tr.	tr.
	99,20	99,17

Nous avons recherché l'azote dans l'échantillon n° 1; la proportion que nous y avons trouvée s'élève à 0,14 p. 100.

Nous devons dire, en outre, que ces marnes, en raison de leur teneur en glauconie, contiennent un peu de potasse. Elles sont donc très-propres à l'amendement des terres.

II. — LABORATOIRE DE MARSEILLE.

Années 1872 à 1875.

Travaux de M. VILLOT, ingénieur des mines. (Extrait.)

§ 1er. — CALCAIRES, CHAUX ET CIMENTS.

1. *Ciment* (*a*). Envoi de M. Lafarge, sous la rubrique Grapier B. Provient du Theil.

2. *Ciment* (*b*). — Envoi du même. Provient d'une usine des environs du Theil. Connu sous le nom de ciment Chevalier.

	(*a*)	(*b*)
CO^2CaO	0,040	traces
SiO^2	0,270	0,450
Al^2O^3 et Fe^2O^3	0,060	0,150
CaO libre	0,590	0,360
HO et pertes	0,040	0,040
Total	1,000	1,000

3. *Calcaire* (*a*). — Provient de Coudoux (Bouches-du-Rhône). In-

diqué comme pouvant donner des chaux hydrauliques. Coloration jaunâtre. Grain grossier.

4. *Calcaire (b).* — Même provenance. Grain plus grossier que le premier.

Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique.

(a)	(b)
5 p. 100.	9 p. 100.

5. *Grès calcaire.* — Envoi de M. Le Blanc, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Provient des environs de Nice. Proposé comme pavé. D'une dureté suffisante pour un charroi non exceptionnel.

SiO^3	0,650
Fe^2O^3 et Al^2O^3	0,210
CO^2CaO	0,135
	0,995

6. *Calcaire.* — Provient des environs de Cary, lieu dit *la Redone.* Pâte blanc jaunâtre avec partie cristalline un peu nacrée. Proposé comme pavé. Paraît ne pouvoir convenir qu'à un charroi modéré.

Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique	SiO^3	0,075
	Al^2O^3 et Fe^2O^3	0,080
CaO		0,450
HO et CO^2		0,385
		0,990

7. *Grès calcaire.* — Provient de l'Estérel, vraisemblablement du terrain permien ou triasique. Aspect hétérogène. Veines de carbonate calcaire cristallisé dans la masse.

Résidu sableux	0,575
CaO	0,230
MgO	traces
HO et CO^2	0,185
	0,990

8 à 20. *Calcaires à chaux hydraulique ou ciment.* — Ils sont désignés par le concessionnaire comme suit : A^1, A^2, A^4; B^1, B^2, B^4; *a, b, c, d, f, m.* — Proviennent de la concession de lignite de la Bastide-Blanche (Var). Envoi du concessionnaire pour guider son choix des bancs à exploiter pour chaux hydraulique ou ciment.

Calcaires lacustres blancs ou bleus à cassure conchoïdale et odeur bitumineuse. Le dépôt qui les contient est contemporain du grand bassin de Fuveau.

	A^1	A^2	A^4	B^1	B^2	B^4	*a*	*b*	*c*	*d*	*f*	[illegible]
Résidu insoluble dans HCl faible et froid.	0,235	0,275	0,210	0,250	0,275	0,325	0,165	0,080	0,060	0,045	0,040	[illegible]
CaO.	0,415	0,370	0,410	0,380	0,365	0,345	0,390	0,450	0,465	0,460	0,450	[illegible]
MgO.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Al^2O^3 et Fe^2O^3.	»	»	»	»	»	»	0,028	0,025	0,041	0,067	0,073	[illegible]
HO, CO^2 et matières organiques.	0,345	0,340	0,370	0,350	0,355	0,310	0,422	0,435	0,425	0,430	0,430	[illegible]
	0,995	0,985	0,990	0,980	0,995	0,980	1,005	0,990	0,991	1,002	0,993	[illegible]

NOTA. — On s'était assuré par avance que les échantillons ne contenaient pas sensiblement de sulfate de chaux.

§ 2. — COMBUSTIBLES.

2. *Agglomérés.* — Provient de la Grand'Combe. Présenté par MM. Fraissinet, armateurs.

Cendres calcinées. . .	0,070	Pouvoir calorifique.	0,823
Carbone fixe.	0,670	— des matières volatiles.	0,153
Matières volatiles. . .	0,260		
	1,000		

3 à 16. *Lignites a, b, c, d, e, f, g, h, i, j. k, l, m.* — Proviennent d'Espagne, et rapportés d'un voyage dans cette contrée par l'ingénieur soussigné.

Constituent de très-puissants dépôts dans la province de Teruel, aux environs de la ville de Montalban et sur les communes de Gargallo, Utrillas, Escucha, etc., dans les terrains aptien et cénomanien.

Les lignites aptiens sont comparables à ceux de Fuveau comme texture, aspect, pouvoir calorifique.

Les lignites cénomaniens ont la plus grande analogie avec ceux de Mondragon (Vaucluse), dont ils sont contemporains.

Bassin de Gargallo.

a. Couche de *Los-Tajos* (La Paz). Brillant, très-friable et pyriteux, avec lamelles nombreuses de sulfate de chaux. L'essai a été fait sur un morceau débarrassé des lamelles.

b. *La Pellegrina*, charbon analogue au précédent.

c. *La Rosa*, — —

d. Couche du Barranco de *la Serrana*. Même aspect que le précédent.

e. Mine *d'Estrella*. Même aspect que le précédent.

f. Mine de *la Luciana*. Même aspect que le précédent.

Bassin d'Utrillas.

g. Mine de *Clemente*. Charbon plus dur et plur pur, quoique montrant encore par place des lamelles de sulfate de chaux.

h. Mine de la *Madrileña* (couche inférieure). Charbon dur, à cassure compacte, ressemblant tout à fait au bon Fuveau.

i. Mine de la *Madrileña* (couche supérieure). Analogue au précédent.

j. Couche du *Col*, entre Escucha et Utrillas. Charbon très-dur, se conserve en gros blocs sans se déliter.

k. Mine de la *Deseada*. Analogue au précédent.

l. Couche de 3 mètres d'épaisseur, rive droite de la Pesadilla. Très-beau lignite, comparable au meilleur Fuveau.

m. Charbon du *Val d'Arino*.

DÉSIGNATION des charbons.	BASSIN.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	SOUFRE.	POUVOIR calorifique.
a	Gargallo.	0,020	0,460	0,520	0,012	0,617
b	Id.	0,070	0,450	0,480	0,010	0,589
c	Id.	0,100	0,360	0,540	0,019	0,576
d	Id.	0,070	0,410	0,520	0,012	0,555
e	Id.	0,130	0,400	0,470	0,017	0,545
f	Id.	0,140	0,400	0,460	0,030	0,520
g	Utrillas.	0,020	0,510	0,470	0,002	0,689
h	Id.	0,030	0,490	0,480	0,007	0,664
i	Id.	0,030	0,530	0,440	0,006	0,672
j	Id.	0,045	0,475	0,480	0,002	0,658
k	Id.	0,040	0,500	0,460	0,009	0,696
l	Id.	0,020	0,530	0,450	0,006	0,710
m	Arino.	0,140	0,360	0,500	0,053	0,485
Moyenne du bassin de Gargallo.	»	0,090	0,413	0,498	0,017	0,556
Moyenne du basssin d'Utrillas.	»	0,031	0,506	0,463	0,005	0,681

Le coke est toujours pulvérulent.

Les cendres sont blanches, grises ou rouges.

Densité moyenne du charbon de Gargallo. 1,4
— — d'Utrillas. 1,3

17. *Jayet*. Provient d'Utrillas, au-dessous des lignites de ce bassin. On y connaît 4 à 5 couches minces de jayet qui sont l'objet d'une exploitation suivie par les gens du pays. La cassure est conchoïde, le reflet brillant, la texture compacte. Il est remarquable qu'avec ces caractères, qui semblent déceler une très-grande pureté, la quantité de cendres soit assez considérable (14 p. 100). On doit noter la grande quantité et le pouvoir calorifique très-grand des matières volatiles. Évidemment les essences qui ont donné lieu au jayet doivent être très-différentes de celles qui ont produit les lignites.

Cendres.	0,140
Carbone fixe.	0,280
Matières volatiles.	0,580
	1,000
Pouvoir calorifique.	0,613
— — des matières volatiles.	0,333

18. *Lignite*. — Pris dans un entrepôt de Barcelone et donné comme provenant des environs de Mequinenza, sur l'Èbre. Est transporté de ce point à l'embouchure de ce fleuve par un petit vapeur.

Aspect terne. Cassure alternativement brillante et terreuse. Dur.

Cendres.	0,120
Carbone fixe.	0,380
Matières volatiles.	0,500
	1.000
Pouvoir calorifique.	0,558
— — des matières volatiles.	0,178

19 à 22. *Lignites a, b, c, d*. — Proviennent de la vallée de la Tave (Gard).

a). Lignite de Comeau.
b). Lignite de Saint-Victor-Lacoste.
c). Lignite de Saint-André.
d). Partie braisée contenue dans *c*.

Tous ces échantillons sont d'un noir mat, d'une cassure terne et d'une consistance très-friable. Le combustible de Saint-Victor est employé concurremment avec du Bességes pour le chauffage des locomotives du chemin de fer de Pas-des-Lanciers à Martigues. On remarquera la grande quantité de cendres de la *braise* naturelle.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matières volatiles.
a	0,300	0,200	0,500	0,323	0,123
b	0,100	0,400	0,500	0,550	0,150
c	0,150	0,370	0,480	0,488	0,118
d	0,120	0,580	0,300	0,602	0,022

23. *Schistes bitumineux du Var déjà distillés.* — Proviennent du bassin de Reyrau.

a). Schistes de la Madeleine, distillés dans une cornue d'essai établie à Fréjus.

b). Schistes de Boson, distillés dans une cornue tournante de l'usine établie sur cette concession.

Examinés au point de vue de l'intérêt qu'il peut y avoir à chauffer les cornues avec un mélange de ces résidus et des schistes frais.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matières volatiles.
a	0,680	0,250	0,070	0,308	0,058
b	0,480	0,370	0,150	0,441	0,071

24 et 25. *Lignites a, b.* — Proviennent de la concession de Sigonce (Basses-Alpes), quartier de la Saint-Jean.

Charbons légers, friables, facilement inflammables, se délitent rapidement.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matières volatiles.
a	0,110	0,360	0,530	0,511	0,151
b	0,175	0,305	0,520	0,498	0,193

26. *Lignite.* — Provient de la concession de Trets. Envoi de M. Pradel.

Cendres.	0,200	Pouvoir calorifique.	0,573
Carbone fixe.	0,415	Pouvoir calorifique des matières volatiles.	0,158
Matières volatiles. .	0,385		
	1,000		

27. *Anthracite.* — Provient de Cessous. Envoi de M. de Villeneuve.

Cendres.	0,070		
Carbone fixe.	0,820	Pouvoir calorifique.	0,858
Matières volatiles. .	0,110	Pouvoir calorifique des matières volatiles.	0,038
	1,000		

28, 29. *Lignites a, b.* — Concession de Sigonce. Remis par M. Garance. Couche du Ravin des Chabrasses, supérieure à celle qui est actuellement exploitée.

a). Veine du toit.

b). Veine du mur.

Charbon brillant et dur à cassure parallélipipédique, couleur noire; l'échantillon *b* est schisteux.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matières volatiles.
a	0,110	0,390	0,510	0,543	0,163
b	0,220	»	»	»	»

30. *Lignite.* — Menu de la concession de la Colle de Villemus. Remis par M. de Villeneuve.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matieres volatiles.
a	0,275	0,340	0,385	0,479	0,139

31 à 33. *Lignites a, b. c.* — Proviennent de recherches effectuées sur la commune de Bras (Var), sur un lambeau de terrain contemporain du bassin de Fuveau. Lieu dit les Signaux. Aspect terreux et humide.

a). Trouvé à 1 mètre de profondeur.

b). Trouvé à 2 mètres de profondeur.

c). Trouvé à 3^{m},50 de profondeur.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matières volatiles.
a	0,440	0,140	0,420	0,198	0,058
b	0,360	0,205	0,435	0,264	0,059
c	0,200	0,300	0,500	0,357	0,057

34. *Lignite.* — Provient de Nans (concession de la Bastide-Blanche). Présenté par le concessionnaire pour s'assurer de la quantité d'eau hygrométrique.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matières volatiles.
a	0,115	0,990	0,495	0,523	0,133

Eau hygrométrique dégagée à 195° : 11,5 p. 100.

35, 36. *Lignites a, b.* — Concession de Saint-Victor-Lacoste (Gard). Pris aux affleurements.

a) Aspect brun et terne. Cassure feuilletée. Très-peu dur. Paraît très-cendreux.

b). Un peu plus noir. Même cassure. Paraît moins cendreux.

On remarquera que la quantité de cendres n'est pas du tout en rapport avec l'aspect du combustible. C'est, en sens inverse, ce qu'on peut remarquer sur l'échantillon de jayet d'Utrillas.

DÉSIGNATION.	CENDRES.	CARBONE fixe.	MATIÈRES volatiles.	POUVOIR calorifique.	POUVOIR calorifique des matières volatiles.
a	0,100	0,390	0,510	0,520	0,130
b	0,065	0,385	0,550	0,519	0,134

37. *Tannée.* — Provient de l'usine de M. Jullien à la Belle-de-Mai. A subi une dessiccation à l'air libre. Est employée pour le chauffage des chaudières de l'usine. Équivaut à peu près au tiers de son poids de houille ordinaire.

Cendres.	0,275
Carbone fixe.	0,125
Eau.	0,105
Autres matières volatiles.	0,495
	1,000
Pouvoir calorifique.	0,239
— — des matières volatiles. . .	0,114

§ 3. — MINERAIS.

1 à 9. *Galènes a, b, c, d, e, f, g, h, i.*

a). Provient du Val d'Aran. Présenté par M. Gent. A moyennes facettes.

b). Même provenance. Texture granulaire.

c). Provient de Kreuchla, province de Constantine. Grenue, à gangue de baryte sulfatée.

d). Provient des environs de Gap, en gros cristaux cubiques.

e). Provient de l'Altier (Lozère). Mélangée à de la blende. Texture grenue.

f). Provient de Corse. Demande en extension de la concession d'Argentella. Lieu dit : *la Faraggiola*. Galène à grains serrés et brillants avec gangue de quartz blanc et de pyrite de fer.

g). Provient de Saint-Laurent (Hérault). Aspect pierreux. Cassure peu brillante. Échantillon très-blendeux, dur et compacte.

h). Provient du Chabet-el-Akra (province de Constantine). Échantillon à grandes facettes.

i). Provient de Corse. Route d'Ajaccio à Sagone, près du village de Calcatoggio. Grandes facettes.

	TENEUR en plomb.	ARGENT aux 100 kilog. de plomb.
	p. 100.	grammes.
a.	46	86
b.	35	100
c.	15	60
d.	72	11
e.	52	305
f.	63	142
g.	15	256
h.	81	62
i.	78	23

10. *Bournonite*. — Envoi de M. Ballon-Provsent de Ramondière (Aveyron).

11 grammes d'argent aux 100 kilog. de minerai.

11 à 13. *Cuivres sulfurés a, b, c.*

a). Provient de l'île d'Eubé, territoire de Janitzi. Est accompagné de cuivre natif. Gangue micacée calcaire et schisteuse. Se laisse très-bien couper. Couleur gris d'acier.

b). Même provenance. Gris plus foncé que le premier. Même gangue.

c). Moyenne de tous les échantillons rapportés, préalablement broyés.

a.	Cuivre	54 p. 100.
	Argent	»
b.	Cuivre	67 p. 100.
	Argent	16 gr. aux 100 kilog. de minerai.
c.	Cuivre	11,50 p. 100.
	Argent	6 gr. aux 100 kilog. de minerai.

14 à 17. *Oxydes de manganèse a, b, c, d.* — Proviennent de Sardaigne, lieu dit : *Souza.*

a). Texture compacte et cristalline. Très-ferrugineux.

b). Texture compacte et cristalline. Plus riche.

c). Aspect terreux du peroxyde hydraté.

d). Aspect cristallin et grenu.

Présentés pour leur titre commercial.

	TITRE.
a	0,13
b	0,72
c	0,66
d	0,89

18. *Oxyde de manganèse.* — Même provenance que les précédents. Accuse, par sa poussière, la prépondérance du peroxyde. En masse très-tendre, dont la cassure est quelquefois douée d'éclat métallique. Envoi de M. Tuiel, conducteur des ponts et chaussées.

Titre commercial	0,86

19. *Oxyde de manganèse.* — Provenance de Sardaigne. Envoi de M. Aguillon. Gangue quartzo-calcaire.

Gangue siliceuse	0,130
CaO, CO^2	0,159
Titre commercial	0,422

20. *Fer oxydulé.* — Provient de Farinole (Corse). Gris d'acier foncé. Texture grenue, très-dur. Gangue quartzeuse.

Fer	70 p. 100.

21. *Fer oligiste.* — Provient de Sardaigne, lieu dit : *la Galina.* Gangue quartzo-serpentineuse.

Gangue	0,190
Fe^2O^3	0,790

22. *Fer carbonaté.* — Provient de la Sainte-Baume. Remis par M. Orsel, ingénieur en chef des mines. Masse compacte, cassure légèrement conchoïdale. Se rencontre dans le terrain santonien marin, contenant les couches de lignite du plan d'Aups, et forme un horizon géologique constant en Provence.

CO^2	0,290
CaO	0,005
FeO	0,460
Al^2O^3	0,130
SiO^3	0,110
	0,995

23 à 45. *Bauxites a, b..... v, x.*

a. Provient de Vidauban (Var). Texture compacte, criblée par place de cavités. Coloration jaune clair.

b. Envoi de M. Orsel, ingénieur en chef des mines. Contient visiblement beaucoup de fer. Texture compacte. Coloration rougeâtre.

c, d, e, f, g, h, i. Envoi de M. Meissonnier. Proviennent du Var. Toutes sont ferrugineuses à l'aspect, sauf *c* qui est blanc jaunâtre et présente tous les caractères de la bauxite bien définie.

j, k. Envoi du même. Proviennent d'Ollières (Var). *j* couleur claire. Désignée sous le nom de bauxite pâle. Onctueuse au toucher.

l. Provient d'Asie Mineure. Texture grenue. Couleur rougeâtre.

m, n, o, p, q, r, s, t. Envoi de M. Martin, ingénieur des ponts et chaussées. Proviennent des Baux. *m, r,* variété pâle; les autres, variétés ferrugineuses. *t* contient des grains empâtés dans la masse.

u, v, x. Présentés par M. Albin, garde-mines. Proviennent du Var. *u* et *v*, variétés pâles; *x*, variété ferrugineuse (*).

	b	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*j*
HO........	0,142	0.149	0,100	0,130	0,130	0.110	0.145	0,140	0,145
SiO^3.......	0,125	0,150	0,040	0,270	0,080	0,110	0,130	0.230	0,180
Al^2O^3 libre...	0,425	0,520	0,470	0,180	0,410	0.525	0,375	0.150	0,480
Al^2O^3 combinée.	0,090	0,115	0,015	0,160	0,060	0,075	0,125	0,190	0,180
Fe^2O^3......	0,021	0,050	0,370	0,245	0,289	0,170	0,220	0,295	»
	0,803	0,984	0,995	0,985	0,969	0,990	0,995	1,005	0,985

	k	*l*	*m*	*n*	*o*	*p*	*q*	*s*	*t*
HO........	0,090	0,070	0,100	0,072	0,080	0,098	0,120	0,100	0,100
SiO^3.......	0,160	0,280	0,330	0,140	0,145	0,155	0,060	0,185	0,050
Al^2O^3 libre....	0,220	0,350	0,290	0,275	0,375	0,480	0,565	0,450	0,270
Al^2O^3 combinée.	»	0,149	0,175	0,085	0.070	0,060	0,030	0,130	0,020
Fe^2O^3......	0,525	0,141	0,100	0,400	0,330	0,200	0,220	0,130	0,550
	0,995	0,990	0,995	0,972	1,000	0,993	0,995	0,995	0,990

(*) Toutes ces bauxites ont été analysées par le procédé indiqué par M. Deville. qui a pour objet essentiel de déterminer la quantité d'alumine active dans le traitement pour la fabrication de l'aluminate alcalin, lequel à son tour sert à la préparation de l'aluminium. C'est celle qui est indiquée sous la rubrique : *alumine libre*. On n'a pas recherché le vanadium ni le titane.

	a	r	u	v	x
HO.	0,150	0,125	»	»	»
SiO^3.	0,150	0,060	»	»	»
Al^2O^3 totale.	0,650	0,720	0,585	0,454	0,647
Fe^2O^3.	0,050	0,075	»	»	»
	1,000	0,980	»	»	»

§ 4. — DIVERS.

1. *Peinture pour carène de navire.* — Employée au revêtement d'un navire du port de Marseille.

Composition indiquée :

30 p. 100 d'huile.
10 — de céruse.
35 — de minium.
25 — d'oxyde de zinc.

La différence la plus grande entre la composition indiquée et la composition vraie tient au remplacement du minium et de l'oxyde de zinc par le peroxyde de fer.

Matières grasses.	0,250
Peroxyde de fer.	0,150
Minium.	0,308
Céruse.	0,081
Oxyde de zinc.	0,200
Résidu terreux.	0,010
	0,999

2. *Mélange pour peinture pour carène.* — Couleur rose foncée. On prépare la peinture en mélangeant la matière avec des huiles minérales. Elle est donnée comme devant intoxiquer les mollusques adhérents, ce qui explique la présence de l'arséniate de mercure.

Argile.	0,280	ocre.
Fe^2O^3.	0,100	ocre.
HgO, AsO^5.	0,100	
ZnO.	0,497	
HO.	0,023	
	1,000	

3. *Limon.* — Provient des dépôts de la Durance du 1[er] octobre 1874 au 31 mars 1875, au pont de Mirabeau. — Représente la composition moyenne des matières qui ont passé dans la Durance pendant cette période.

$CaOCO^2$.	0,332
SiO^3.	0,308
Al^2O^3 et Fe^2O^3.	0,230
HO hygrométrique.	0,115
	0,985

III. — LABORATOIRE DE TROYES.

Années 1872-1876.

Travaux de M. PESTELARD, garde-mines.

(EXTRAIT.)

Depuis la création du laboratoire départemental de l'Aube, au mois de décembre 1868, jusqu'au 1er janvier 1877, on y a exécuté un grand nombre d'analyses : elles ont été faites le plus souvent, sur la demande d'agriculteurs ou d'industriels habitant le département. On peut les classer en deux catégories parfaitement distinctes, l'une comprenant toutes les matières qui n'ont qu'un intérêt d'actualité, et l'autre toutes celles dont les documents, sous le point de vue agronomique et industriel, peuvent être utilement consultés. Dans la première de ces catégories, on peut placer les substances diverses, telles que savons, farines, etc., et notamment un grand nombre d'engrais, pour lesquels on a recherché non-seulement les éléments dont ils sont composés, mais encore leur degré de solubilité, afin de pouvoir établir leur valeur réelle. Dans la deuxième catégorie, on peut faire entrer les terres végétales, les calcaires, les argiles, les sables, les eaux et les dépôts formés dans les chaudières à vapeur. L'extrait suivant ne comprend que les substances provenant directement du sol, recueillies en grande partie dans le département de l'Aube, et sur toute la série des terrains sédimentaires dont il est formé, à l'exception du lambeau de terrain tertiaire des environs de Villenauxe qui cependant est très-intéressant à étudier et où se trouvent de nombreuses exploitations d'argiles pour faïence, gazettes, briques réfractaires, etc. Comme ces analyses sont inscrites sur les registres du laboratoire d'après la date de l'envoi des échantillons, il a paru nécessaire de les présenter et de les grouper par nature de terrain, en indiquant le lieu où l'échantillon a été pris, sa composition et les observations résultant de l'analyse.

TERRAIN D'ALLUVION.

Toutes les analyses de terres indiquées ci-contre se rapportent à des échantillons provenant d'anciennes alluvions de la Seine. On y trouve beaucoup de gravier de même nature que le calcaire jurassique et mélangé avec les débris des roches avoisinantes.

Les alluvions anciennes de la Seine et de l'Aube couvrent une

assez grande surface du sol du département, leurs contours n'ont pas encore été bien déterminés ; les terres végétales y sont en général d'assez bonne qualité, à moins que le sous-sol immédiat ne soit composé de gravier calcaire, ce qui les rend trop perméables.

a. Terre végétale de Saint-Germain, lieu dit le Marais. — Terre tourbeuse d'alluvion, sous-sol de craie marneuse. Renferme 3,66 pour 100 d'acide humique.

b. Terre végétale de Troyes, faubourg Saint-Jacques, jardin de l'École normale. — Alluvion de la Seine. Gravier calcaire, sous-sol de craie marneuse.

c. Terre végétale de Troyes, près le pont de Saint-Parres. — La grande quantité d'argile que cette terre renferme tient à la nature glaiseuse des roches du gault amenées par les inondations de la Barse.

d, *e.* Terre végétale de Troyes, faubourg Saint-Jacques, route de Bar-sur-Aube. — Gravier calcaire sur craie marneuse.

f. Terre végétale de Saint-André, entre Notre-Dame-des-Prés et la rivière de Corps. — Le sous-sol est composé de petits fragments calcaires crayeux mélangés de gravier jurassique.

	DIVISION de l'échantillon		MATIÈRES organiques. — Eau combinée.	CARBONATE de chaux.	ARGILE. — Sable très-fin.	SABLE siliceux. — Débris de silex.	FACULTÉ hygrométrique. — Eau absorbée.
	en parties grossières.	en parties fines.					
a	22,01 »	» 77,99	2,32 12,86	16,71 63,05	» 12,08	2,98 »	100 %
b	45,40 »	» 54,60	0,23 4,49	38,58 39,30	» 10,81	6.58 »	58 %
c	1,68 »	» 98,32	0.03 5.82	1,18 56,62	» 35,88	0,47 »	68 %
d	20,71 »	» 79,29	» 6,29	18,96 46,80	» 26,20	1,75 »	64 %
e	29,90 »	» 70,10	1,19 2,80	25,93 44.53	» 22,77	2,78 »	60 %
f	20,00 »	» 80,00	» 5,00	18,20 57,20	» 17,80	1,80 »	»

TERRAIN TERTIAIRE.

Argile rouge à silex ou *diluvium rouge.* — Le diluvium rouge, que quelques géologues regardent comme ayant été formé par

l'action des eaux acides, dissolvant les matières solubles et laissant comme résidu une argile rouge ferrugineuse mélangée de silex, couronne la plupart des coteaux crayeux au sud-ouest du département de l'Aube, et s'étend également dans l'Yonne.

Les terres végétales indiquées ci-contre, qui en proviennent, sont, quelques-unes très-argileuses et d'autres très-sableuses; elles renferment souvent des minerais de fer, des débris de silex, mais très-peu de carbonate de chaux, à moins qu'elles ne soient près des masses crayeuses qui leur servent de bases; alors on y trouve souvent quelques fragments calcaires provenant de débris de craie.

Les argiles et les sables appartenant à ce terrain sont fréquemment employés à la fabrication de briques de bonne qualité. On trouve à cet étage sur le plateau de Bouilly des silex décomposés, de forme ronde, à couches concentriques, de couleur blanche et renfermant 95 p. 100 de silice soluble.

a. Terre végétale de Neuville-sur-Seine. Fond de la vallée d'Aix, n° 659 du plan cadastral. — Renferme une assez grande quantité de silex et quelques fragments crayeux.

b. Terre végétale de Neuville-sur-Seine, fond de la vallée d'Aix, n° 659 du plan cadastral. — Renferme des débris de silex, mais pas de fragments crayeux.

c. Terre végétale de Parou, près Sens, au nord de l'Hermitage Saint-Bon (Yonne). — Cette terre végétale est une argile presque pure et demande à être chaulée et marnée; aussi plusieurs cultivateurs ont-ils creusé des puits dans le champ même qu'ils veulent amender pour y extraire de la craie que l'on trouve dans le sous-sol.

d. Terre végétale de Parou, au-dessus de la carrière de craie pour fabrique de blanc.

e. Terre végétale de Parou, grand Ravin, entre l'Hermitage et la carrière de blanc.

f. Terre végétale de Flandes près de Villeneuve-sur-Yonne. — Ces trois terres sont très-pauvres en carbonate de chaux et demandent à être chaulées et marnées.

g. Terre végétale de Fontvannes, à 1 kilomètre au nord-ouest du village. — Cette terre paraît résulter du remaniement des sables et glaises tertiaires. Le sous-sol renferme 17,30 de sable et de minerai de fer; il est employé à la fabrication de la brique.

h. Argile de la tranchée du chemin vicinal entre Prugny et Vauchassis. — Argile rouge à la base des terrains tertiaires reposant sur un sous-sol crayeux.

i. Argile de la tranchée du chemin vicinal entre Prugny et Vauchassis. — Apparaissant sous forme de lentilles blanches au milieu des argiles rouges du numéro qui précède.

j. Sable de Vauchassis au-dessus de la côte, chemin de Prugny. — Employé comme mélange avec l'argile rouge pour la fabrication de la brique à Vauchassis.

	DIVISION de l'échantillon		MATIÈRES organiques. — Eau combinée.	CARBONATE de chaux.	ALUMINE et oxyde de fer	ARGILE. — Sable très-fin (s.f.)	SABLE siliceux. — Débris de silex.	EAU hygrométrique. — Matières diverses.
	en parties grossières.	en parties fines.						
a	25,50	»	»	10,12	1,02	»	Sable 6,50 Silex 7,86	»
	»	74,50	Mat. organ. 2,82 Eau comb. 3,85	5,17	2,97	44,69	»	15,00
b	26,30	»	»	0,50	0,50	»	Sable 6,30 Silex 9,00	10,00
	»	73,70	Mat. organ. 3,11 Eau comb. 6,10	3,34	3,00	57,85	»	0,30
c	0,31	»	»	»	»	»	0,31	»
	»	99,69	Eau comb. 15,43	1,60	»	Argile et s.f. 82,66	»	»
d	59,40	»	»	0,92	»	»	58,48	»
	»	40,60	4,06	3,04	»	33,50	»	»
e	25,50	»	0,13	»	»	»	25,37	»
	»	74,50	11,92	1,12	»	61,46	»	»
f	39,40	»	0,19	0,99	»	»	38,22	»
	»	66,60	5,18	1,82	»	53,60	»	»
g	24,70	»	1,47	0,36	»	»	22,87 avec fragments de silex.	»
	»	75,30	6,97	0,75	Alumine 14,22 Ox. de fer 12,16	41,20	»	»
h	»	»	»	3,00	2,00	95,00	»	»
i	»	»	»	»	3,00	97,00	»	»
j	»	»	»	»	4,00	»	96,00	»

TERRAIN CRÉTACÉ

Conprenant : 1° La craie proprement dite;
2° Les argiles du Gault et les sables verts;
3° Le terrain néocomien.

Les terres analysées ci-contre se rapportent à la craie proprement dite qui s'étend sur environ la moitié du sol du département de l'Aube, depuis la craie blanche supérieure jusqu'à la craie marneuse.

Les terres végétales qui reposent sur ce sous-sol participent de sa nature propre et de celle des roches qui les avoisinent. L'analyse de quelques-unes de ces terres a démontré que celles qui sont situées dans les vallées près des coteaux où l'on retrouve encore des débris de terrain tertiaire argileux ou sableux, renferment souvent de 20 à 30 p. 100 de ces matières, et seraient de bonne qualité si le sous-sol, composé de gravelle crayeuse, ne les rendait pas trop perméables. Celles qui sont situées sur le flanc des coteaux et qui n'ont pas été mélangées avec des argiles et des sables du diluvium rouge sont en général de mauvaise qualité et sont exclusivement calcaires.

Enfin, celles qui ont un sous-sol de craie marneuse sont susceptibles de devenir très-bonnes et de fournir d'excellentes récoltes en céréales, si on leur donne suffisamment d'engrais.

Les calcaires crayeux sont souvent employés dans les constructions de la Champagne, mais ils sont un peu gélifs. Ceux d'Avant et des environs, employés après avoir perdu une partie de leur eau hygrométrique, résistent assez bien à la gelée, quand ils sont élevés à plus d'un mètre du sol.

On a essayé de faire du ciment et de la chaux hydraulique avec la craie argileuse de Chamois; jusqu'à ce jour, les analyses faites au laboratoire n'ont pas établi que ces calcaires fussent susceptibles de donner de bonnes chaux et de bons ciments, ce qui tient probablement à l'état moléculaire des parties argileuses et siliceuses qui se décomposent difficilement par la cuisson pour former des aluminates et des silicates de chaux.

a, *b*. Terres végétales d'Avant, section C, n° 272, près du village, et chemin de Longsols.—Le sous-sol est de la craie blanche, les parties argileuses et sableuses proviennent de la partie supérieure des terrains tertiaires dénudés.

c. Terre végétale de Coclois, section A, n° 107, du plan cadastral. — Cette terre est assez rapprochée de la rivière d'Aube et l'on y trouve des traces d'alluvions anciennes.

d. Terre végétale de Montangon, n° 81 du plan cadastral. — La nature argileuse de cette terre provient des alluvions de l'Auzon qui prend sa source dans les argiles du gault.

e, *f*. Terre végétale de Montsuzain, ferme de Montardoise. — On trouve encore des lambeaux de de diluvium rouge sur les coteaux avoisinants, ce qui explique la grande quantité d'argile que cette terre renferme. Ces terres pourraient être assez fertiles, mais elles reposent sur un sous-sol de gravelle crayeuse, beaucoup trop perméable.

g. Terre végétale d'Arcis-sur-Aube, n° 323, section C, route de Nozai. — Même observation que pour l'échantillon qui précède.

h. Terre végétale de Luyères, du nord, sur la hauteur, route de Coclois. — Sous-sol de gravelle crayeuse, très-mauvaise terre.

i. Terre végétale de Montgueux, à mi-côte près la route de Troyes à Sens. — Cette terre n'est composée que de fragments calcaires ou éboulis de craie.

j. Terre végétale de Bucey, à l'entrée du village, au pied de la côte. — Sous-sol de craie moyenne, sable et argile provenant des terrains tertiaires.

k. Terre végétale de Torvillers, chemin de Prugny. — Passage de la craie blanche à la creie marneuse, mélange de craie, d'argile et de sable provenant du diluvium rouge.

l, *m*, *n*. Terre végétale de Saint-Germain, près du village. — Craie marneuse. — On y rencontre quelques graviers jurassiques roulés qui sont des traces d'alluvions anciennes.

o. Terre végétale de Saint-Parres, au sud, près de la carrière, route de Vendeuvre. — Passage de la craie blanche à la craie marneuse.

p. Craie d'Avant, carrière à l'ouest du village, lieu dit Rougevaux. — Passage de la craie blanche à la craie marneuse.

q. Calcaire de Montgueux, à la partie supérieure de la côte. — Craie recouverte par l'argile à silex du diluvium rouge.

r. Calcaire de Montgueux, partie inférieure de la côte. — Craie moyenne.

s, *t*, *u*. Calcaires de Prugny, près du village, — de Pont-Hubert, route d'Arcis, — de Saint-Parres, carrière au sud du village. — Passage de la craie blanche à la craie marneuse.

v. Calcaire d'Isle-au-Mont, dans le village.—Craie marneuse grise.

x, *y*. *z*. Calcaires de Chamois. — Craie marneuse grise.

	DIVISION de l'échantillon — en parties grossières.	en parties fines.	MATIÈRES organiques. — Eau combinée.	CARBONATE de chaux.	CARBONATE de magnésie.	ALUMINE et oxyde de fer.	ARGILE. — Sable très-fin (s. f.)	SABLE siliceux. — Débris de silex.	EAU hygrométrique. — Matières diverses.	FACULTÉ hygrométrique.
a	30,30 »	» 69,70	» 1,74	28,93 46,36	» »	» »	» 21,60	1,37 »	» »	40 %
b	39,80 »	» 60,20	» 1,81	37,01 27,69	» traces	0,80 4,21	» 1,80	1,99 24,69 (Sable argileux).	» »	..
c	19,88 »	» 80,12	0,19 8,01	18,31 62,11	» »	» »	» 10,00	1,38 »	» »	58 %
d	8,50 »	» 91,50	» 4,57	5,72 59,47	» »	» »	» 27,46	2,78 »	» »	62 %
e	27,00 »	» 73,00	0,15 3,55	25,77 41,47	» »	» »	» 24,52	1,08 »	» 3,46	55 %
f	20,20 »	» 79,80	0,32 3,29	19,28 49,83	» »	» »	» 23,94 avec s. f.	0,60 »	» 2,74	55 %
g	23,50 »	» 76,50	0,82 3,06	19,98 54,70	» »	» »	» 18,74 avec s. f.	2,70 »	» »	58 %
h	22,80 »	» 77,20	» 5,40	21,66 64,85	» »	» »	» 6,95	1,14 »	» »	»
i	21,30 »	» 78,70	0,10 3,93	20,23 73,98	» »	» »	» 0,79	0,97 »	» »	»
j	30,96 »	» 69,04	» 3,11	28,02 53,51	» »	» »	» 12,42	2,94 »	» »	»
k	23,00 »	» 77,00	» 3,50	6,24 55,05	» »	» »	» 18,45	22,74 »	» »	»
l	30,77 »	» 69,23	» 2,77	24,62 48,11	» »	» »	» 18,35 avec s. f.	6,15 »	» »	60 %
m	29,81 »	» 70,19	0,44 2,46	26,54 55,46	» »	» »	» 12,27	2,83 »	» »	58 %
n	22,64 »	» 77,36	0,10 3,14	20,04 57,30	» »	» »	» 17,02	2,50 »	» »	62 %
o	41,20 »	» 58,80	» 3,81	38,31 47,15	» »	» »	» 7,94	2,89 »	» »	60 %
p	»	»	»	89,00	1,00	1,60	7,00	»	»	»
q	»	»	»	97,50	»	»	2,50	»	»	»

	DIVISION de l'échantillon en parties grossières.	en parties fines.	MATIÈRES organiques. — Eau combinée.	CARBONATE de chaux.	CARBONATE de magnésie.	ALUMINE et oxyde de fer.	ARGILE. — Sable très-fin (s. f.).	SABLE siliceux. — Débris de silex.	EAU hygrométrique. — Matières diverses.	FACULTÉ hygrométrique.
r	»	»	»	98,50	»	»	1,50	»	»	»
s	»	»	»	97,00	»	»	3,00	»	»	»
t	»	»	»	95,00	»	»	5,00	»	»	»
u	»	»	»	88,00	»	»	12,00	»	»	»
v	»	»	»	68,75	»	»	28,75	»	2,50	»
x	»	»	»	68,19	»	»	29,00	»	2,81	»
y	»	»	»	75,00	»	»	23,50	»	1,50	»
z	»	»	»	70,00	»	»	28,00	»	2,00	»

ARGILES DU GAULT ET SABLES VERTS.

Ce terrain est assez étendu dans le département de l'Aube, mais il est le plus souvent planté en bois. On emploie les argiles à la fabrication des tuiles, des briques et de la poterie. Les sables servent au moulage de la fonte. On remarque, notamment au Gâtis, des cristaux de sulfate de chaux qui miroitent au milieu des argiles, et donnent aux produits des briqueteries de cette localité une couleur blanchâtre, qui du reste n'est qu'à la surface et ne diminue en rien leurs qualités.

a. Marne de Courteranges, lieu dit Pontbarse. — Marne argileuse facilement délitable.

b, *c*. Terre végétale de Courteranges, lieu dit Pontbarse.

Ces terres sont situées sur le passage de la craie marneuse aux argiles du gault. On y rencontre aussi des graviers calcaires provenant d'alluvions anciennes de la Seine. Elles sont en général très-argileuses et difficiles à cultiver ; il est souvent nécessaire de les drainer.

d. Terre végétale de Géraudot, lieu dit le Gâtis. — Repose sur les argiles du gault ; le sous-sol renferme 2,50 pour 100 de sulfate de chaux disséminé en cristaux dans les argiles.

	DIVISION de l'échantillon		MATIÈRES organiques. — Eau combinée.	CARBONATE de chaux.	ARGILE — Sable très-fin (s f.)	SABLE siliceux. — Débris et silex.	EAU hygrométrique. — Matières diverses.	FACULTÉ hygrométrique.
	en parties grossières	en parties fines.						
a	»	»	»	29,55	61,45	»	9	»
b	4,87 »	» 95,13	0,13 9,03	0,10 1,91	» 84,19	4,64 »	» »	58 %
c	21,37 »	» 78,63	0,17 4,72	0,47 1,57	» 72,34	20,73 »	» »	60 %
d	3,00 »	» 97,00	0,05 8,73	0,07 0,97	» 87,30	2,88 »	» »	»

TERRAIN NÉOCOMIEN.

Le terrain néocomien se compose de sables, d'argile et de calcaires ; on y rencontre accidentellement du minerai de fer oolitique. Les terres végétales qui le recouvrent sont de qualités très-diverses et leur composition varie suivant la nature du sous-sol ; la plupart demandent à être chaulées ou marnées.

Les argiles des environs de Vendeuvre et de Villers-en-Trodes sont fréquemment employées à la fabrication de la brique réfractaire de la poterie et des gazettes. Depuis quelque temps on s'en sert pour modeler, dans une fabrique de statues nouvellement établie près de Vendeuvre : alors elles sont soumises à une lévigation préalable, les modèles sont ensuite reproduits au moyen de moules en plâtre, et, après une dessiccation lente et une cuisson convenablement conduite, ils acquièrent une assez grande solidité.

Les calcaires du terrain néocomien sont peu gélifs et peuvent être employés dans les constructions ; ils sont en général moins marneux que ceux du Portlandien et fournissent une chaux grasse de bonne qualité dont on se sert pour le chaulage des terres argileuses.

Les minerais de fer sont exploités pour les hauts-fourneaux de Vendeuvre et de la Villeneuve-aux-Chênes. On en expédie aussi pour quelques hauts fourneaux de l'Yonne et de la Haute-Marne, après qu'ils ont été bocardés et lavés.

a. Terre végétale de Jully-sur-Sarce, plaine Floolz, lieu dit Champ du récuron. — Presque entièrement sableuse et ne renferme

que des parties insignifiantes de carbonate de chaux. — Terre improductive.

b. Même origine. — Ne diffère de la précédente que par la nature du sable qui est beaucoup plus fin.

c. Terre végétale de Jully-sur-Sarce, plaine de Floolz, lieu dit Au-dessus de l'étang. — Un peu plus argileuse que les deux précédentes et de meilleure qualité.

d. Terre végétale de Jully-sur-Sarce, plaine de Floolz, lieu dit Champ du poêle. — Cette terre et les trois qui précèdent appartiennent aux sables superficiels des terrains néocomiens.

e. Terre végétale de Vendeuvre, au nord de la gare. — Sous-sol de calcaire néocomien, mais se trouve dans le voisinage des sables et argiles du même terrain.

f. Terre végétale d'Éclance, n° 65 du plan cadastral. — Cette terre repose sur les argiles néocomiennes mélangées de sable très-fin ; le sous-sol renferme 97,85 pour 100 d'argile et sable très-fin.

g. Terre végétale d'Éclance, n° 404 du plan cadastral. — Le sous-sol renferme 10,91 de sable blanc micacé et 89,09 de sable très-fin et d'argile.

h, *i*, *j*. Terre végétale d'Éclance, n°s 833, 161, 472 du plan cadastral. — Ces terres manquent de carbonate de chaux et ont besoin d'un amendement calcaire.

k. Calcaire d'Éclance, chemin de Frannes.

l. Argile de Vendeuvre, chemin de l'Étape.

m. Argile de Vendeuvre, lieu dit Guédot.

n. Argile de Vendeuvre, lieu dit la Tuilerie.

o, *p*. Sables de Champ-sur-Barse.

q. Sable de Vendeuvre, lieu dit Guédot.

Ces analyses ont été faites dans le but de rechercher les matières les plus convenables pour la fabrication des briques réfractaires. Les terres qui renferment du mica sont impropres à cette fabrication parce qu'elles donnent lieu à des silicates multiples très-fusibles; le peu de chaux et d'oxyde de fer que l'on rencontre dans ces sables et ces argiles ne peut avoir d'influence sur les produits.

	DIVISION de l'échantillon en partes grossières.	en parties fines.	MATIÈRES organiques. — Eau combinée.	CARBONATE de chaux.	ALUMINE et oxyde de fer.	ARGILE — Sable très-fin (s. f.)	SABLE siliceux. — Débris de silex.	EAU hygrométrique. — Matières diverses.	FACULTÉ hygrométrique.
a	79,60 »	» 19,40	» 2,23	0,51 1,17	» »	» 16,00 (s. f.)	79,09 »	» »	40 %
b	23,27 »	» 76,73	0,13 3,82	0,14 1,81	» »	» 71,10 argile et s. f.	23,00 (*) »	» »	42 %
c	18,50 »	» 81,50	1,85 8,55	0,45 3,97	» »	» 68,98 argile et s. f.	16,20 (*) »	» »	42 %
d	19,50 »	» 80,41	0,30 4,41	0,20 2,01	» »	» 73,99 argile et s. f.	19,00 »	» »	42 %
e	30,55 »	» 69,45	» 5,21	22,61 20,10	» »	» 41,14	7,94 »	» »	52 %
f	6,05 »	» 93,95	0,06 1,51	0,09 4,71	» »	» 87 73 argile et s. f.	5,90 »	» »	67 %
g	19,50 »	» 80,50	0,20 4,01	0,69 4,45	» »	» 72,04 argile et s. f.	18,61 »	» »	60 %
h	43,71 »	» 56,29	» 2,26	0,22 1,95	» »	» 52,08	43,49 »	» »	60 %
i	13,04 »	» 86,96	0,07 2,18	0,52 3,47	» »	» 81,31	12,45 »	» »	70 %
j	7,26 »	» 92,74	0,04 1,39	0,08 2,78	» »	» 88,57 argile et s. f.	7,14 »	» »	64 %
k	»	»	»	91,00	»	9,00	»	»	»
l	»	»	»	1,50	1,00	74,60	15,40	7,50	»
m	»	»	»	0,80	0,50	79,90	8,80 sable micacé	10,00	»
n	»	»	»	1,20	1,10	60,70	32,00	5,00	»
o	»	»	»	0,50	0,20	4,80	92,50	2,00	»
p	»	»	»	0,80	0,50	5,70	91,00	2,00	»
q	»	»	»	1,00	0,30	6,20	90,00 sable micacé	2,50	»

(*) Mêlé de grains ferrugineux.

TERRAIN JURASSIQUE.

Le terrain jurassique dans l'Aube ne comprend que les étages des calcaires portlandiens, des argiles et calcaires kimméridgiens et des calcaires coralliens.

On n'a fait qu'un petit nombre d'analyses des terres végétales qui recouvrent ces roches, mais les essais de calcaires pour recherche de leurs qualités hydrauliques ont été assez nombreux.

La fabrication de la chaux hydraulique a pris une grande extension depuis quelques années dans le département de l'Aube. On se sert plus particulièrement des calcaires à astartes de l'étage corallien dans les environs de Mussy-sur-Seine et de Clairvaux. Les produits obtenus sont d'excellente qualité et expédiés sur un grand nombre de points de la France. Les calcaires des environs de Bar-sur-Seine paraissent se trouver à la limite des calcaires portlandiens et kimméridgiens; ils renferment dans certains bancs des fragments de lignite; on crée en ce moment, à Bar-sur-Seine une usine pour la fabrication de la chaux hydraulique, dans laquelle on fera usage de ces calcaires.

a. Terre végétale de Jessaint, n° 270 du plan cadastral. — Sous-sol de calcaire portlandien, mais dans une plaine alluvienne bordée par les sables et les argiles des terrains néocomiens.

b. Terre végétale de Verpillières, forêt d'Oisellement. — Cette terre, d'apparence argileuse, contient une grande quantité de sable très-fin (étage kimméridgien).

c. Terre végétale de Cunfin, forêt de Nagé. — Renferme quelques fragments calcaires et beaucoup d'argile (argiles kimméridgiennes).

d. Marne de Riceys, ferme de M. Porow. — Cette marne ne paraît pas facilement délitable.

e, f, g. Calcaire de Verpillières, lieu dit Pic-Vérou. — Ces calcaires sont susceptibles de donner des chaux hydrauliques (étage des calcaires à astartes).

h, i, j, k, l, m. Calcaires de Bar-sur-Seine, bas de la côte, à l'entrée de la ville.

Les échantillons ci-contre ont été pris sur une coupe d'environ 6 mètres. Les essais ont été faits en vue de reconnaître la qualité de ces calcaires pour la fabrication de la chaux. On a constaté qu'ils étaient de nature homogène et qu'en raison de la quantité

d'argile qu'ils renfermaient, ils étaient susceptibles de donner une chaux assez hydraulique.

n, o, p, q, r, s, t, u, v, x, y, z, a, b*, c**. Calcaire de Goméville (Côte-d'Or), près de Mussy-sur-Seine.

Ces échantillons ont été pris sur une coupe d'environ 15 mètres et de mètre en mètre. Les essais ont démontré que les bancs de calcaire n'étaient pas très-homogènes et que la quantité d'argile qu'ils renfermaient variait de 15 à 30; cependant, pris dans leur ensemble, ces calcaires pouvaient donner une bonne chaux hydraulique. Sur ces données on a établi une usine qui fonctionne aujourd'hui et dont les produits sont de bonne qualité.

	DIVISION de l'échantillon — en parties grossières.	DIVISION de l'échantillon — en parties fines.	MATIÈRES organiques — Eau combinée.	CARBONATE de chaux.	ALUMINE et oxyde de fer.	ARGILE — Sable très-fin (s.f.)	SABLE siliceux. — Débris de silex.	EAU hygrométrique, — Matières diverses.	FACULTÉ hygrométrique.
a	7,17 »	» 92,83	0,21 5,56	4,07 4,59	» »	» 82,68 argile et s. f.	2,89 »	» »	62 %
b	1,50 »	» 89,50	» 1,95	1,58 1,68	0,52 0,56	» 84,13 argile et s. f.	8.40 »	» 1,18	60 %
c	1,30 »	» 98,70	0,30 4,57	0,90 2,80	» 3,12	» 82,91	» »	0,10 5,30	64 %
d	»	»	»	33,57	5,00	57,00	2,00	2,43	»
e				79,85	»	20,15	»	»	»
f	.....	.....	.....	85,00	»	15,00	»	»	»
g				71,93	4,50	20,50	1,50	1,57	»
h				77,27	1,73	17,50	»	3,50	»
i				79,54	0,96	17,00	»	2,50	»
j				77,27	1,73	18,00	»	3,00	»
k	.....	.....	.....	78,00	1,00	18,50	»	2,50	»
l				77,27	2,48	18,00	»	2,25	»
m				77,27	0,73	19,50	»	2,50	»
n				84,00	1,00	14,00	»	1,00	«
o				85,00	0.50	13,00	»	1,50	»
p				77,27	2,23	18,00	»	2,50	»
q				79,50	»	19,00	»	1,50	»
r				79,54	3,46	15,50	»	1,50	»
s				67,00	1,00	30,00	»	2,00	»
t				68,63	1,87	27,50	»	2,00	«
u	.....	.....	.....	79,54	0,96	17,00	»	2,50	»
v				84,00	»	15,00	»	1,00	»
x				81,00	»	18,00	»	1,00	»
y				79,54	0,46	19,00	»	1,00	«
z				76,19	0,81	22,00	»	1,00	»
a'				79,54	2,46	17,00	»	1,00	»
b'				79,54	2,46	17,00	»	1,00	»
c'				78,40	2,60	17,50	»	1,50	«

Troyes, le 2 avril 1877.

IV. — LABORATOIRE D'ANGERS.

Année 1875.

Note de M. BROSSARD DE CORBIGNY, ingénieur des mines.

Les mines de Désert, Saint-Lambert et Montjean font partie du bassin anthraxifère de la basse Loire, qui s'étend de Doué (Maine-et-Loire) à Nort (Loire-Inférieure), avec une direction générale de E.-S.-E. à O.-N.-O.

La composition du bassin en couches exploitables est très-variable. Aux extrémités, ces couches sont pauvres et fortement tourmentées; au milieu (Désert, Montjean), elles sont plus régulières, quoique fréquemment coupées de *crains* et parties stériles. Celles qu'on exploite actuellement appartiennent à la région sud du bassin: elles plongent vers le nord sous un angle de 70° en moyenne avec l'horizontale. L'épaisseur utilisable de chacune change constamment à cause des alternatives de *crains* et de *bouillards;* la moyenne ne doit pas être évaluée au-dessus de 1 mètre, et le nombre des couches est de 3 ou 4 (les 8 couches dont l'analyse est donnée pour Saint-Lambert ne sont pas toutes exploitables).

La production annuelle des quatre concessions exploitées en Maine-et-Loire est de 50.000 tonnes.

Ces charbons sont consommés surtout par les fours à chaux dont les produits sont recherchés par l'agriculture, et qui sont établis sur une bande de marbre dévonien contiguë au terrain anthraxifère. Une faible partie de la production (soit $\frac{1}{8}$) est transformée en briquettes et livrée aux appareils à vapeur; les usines d'agglomération sont à Montjean et à Désert. Les charbons de la basse Loire ont, en effet, le défaut d'être secs et friables; le coke qu'ils fournissent est rarement aggloméré: ce sont véritablement des anthracites, et en outre ils contiennent une proportion de cendres presque toujours considérable. Ces propriétés sont surtout caractérisées à la mine de Saint-Lambert: le taux des matières volatiles n'atteint pas 9 p. 100; celui des cendres dépasse 10 et souvent même 20 p. 100.

Angers, le 31 janvier 1877.

Extrait des analyses effectuées par M. Brossard de Corbigny, ingénieur des mines, au laboratoire de chimie d'Angers, pendant l'année 1875.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Matières volatiles. . . .	16,30	8,80	7,50	8,20	7,40	7,70	8,60	8,50	8,10	8,40	54,60	19,10	16,70	16,60	28,30
Carbone fixe.	77,30	75,90	63,70	74,80	82,40	67,90	70,80	68,40	74.90	88,30	24,70	71,90	78,00	75,90	63,00
Cendres.	6,40	15,31	28,80	17,00	10,20	24,40	20,60	23,10	17,00	3,30	20,70	9,00	5,30	7,50	8,70
Total.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Plomb réduit par 1 gr.	30,50	26,30	21,50	25,60	27,80	23,10	23,70	21,60	25,70	32,40	10,90	27,80	28,60	29,40	27,00
Nature du coke.	agglo-méré.	Pulvérulent.								pulvé-rulent.	»	aggloméré avec champignon	agglo-méré.	aggloméré légèrement boursouflé.	agglo-méré.

1. Mine de Désert puits n° 4, veine du Fouzeau, niveau de 270 mètres.
2 à 9. Mine de Saint-Lambert. Charbons de 8 couches recoupées au niveau de 104 mètres, puits du Coteau.
10. Anthracite anglais employé aux fours à chaux.
11. Tourbe du Pas-de-Jeu (Deux-Sèvres).
12. Briquette fabriquée à la mine de Désert,
13. Mine de Montjean, puits de la Loire, niveau de 200 mètres. Couche Fernand.
14. Mine de Montjean, puits de la Loire, niveau de 200 mètres. 2e couche.
15. Briquette de Montjean.

V. — LABORATOIRE DE CLERMONT-FERRAND.

Années 1875 et 1876.

Travaux de M. AMIOT, ingénieur des mines.

(EXTRAIT.)

1° *Analyse d'eau minérale de la Bourboule.*

(Source Perrière : $t = 53°$).

Le résidu de l'évaporation pèse $4^g,955$ par litre ; il est ainsi composé :

	grammes.
Chlorure de sodium	3,308
Sulfate de soude	0,204
Peroxyde de fer	0,022
Chaux	0,010
Silice	0,039
Acide arsénique	0,006
Carbonates alcalins	1,366
	4,955

Acide carbonique total par litre $1^g,426$.

2° *Analyse d'eaux minérales provenant des travaux exécutés dans le domaine de Saint-Mart, près Royat.*

Résidu de l'évaporation, par litre :

				grammes.
Source Saint-Victor. —	Température		24°	3,130
Sources Saint-Mart.	Naissant principal.		31°	4,855
	Filet	id.	22°,5	3,256
	Id.	id.	27°	3,530
	Id.	id.	22°	2,760

La source Saint-Victor (source d'aval) a été découverte sous une voûte plate très-ancienne, qui existe dans le jardin attenant au moulin de Saint-Mart, à l'est de celui-ci. Les sources d'amont (sources Saint-Mart) ont été mises au jour à l'ouest du moulin, près d'un point où l'on voyait un filet d'eau se perdre dans le ruisseau de Tiretaine. Les fouilles ont rencontré un ancien puits qui a été curé et où l'on a trouvé des médailles romaines. Les sources coulent au fond de ce puits. L'un des filets y était amené par tuyau de plomb.

3° Eaux destinées à l'alimentation des chaudières de la manufacture des tabacs de Riom.

	I.	II.	III.
Titre hydrotimétrique	26,5	39,5	65
Résidu séché à 100° par litre	0g,143	0g,219	0g,662
Sulfate et carbonate de chaux	0 ,068	0 ,108	0 ,400

Les échantillons nos 1 et 2 contiennent une proportion notable d'acide carbonique qui contribue à élever le titre hydrotimétrique.

L'eau n° 1 est peu incrustante; l'eau n° 2 un peu plus; l'eau n° 3 donnerait des dépôts assez abondants et doit être rejetée.

4° Essais de houille.

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS.		HOUILLE NATURELLE.		HOUILLE PURE (calculé).	
		Coke.	Cendre.	Coke.	Matières volatiles.
Houille de Buxière-la-Grue (Allier).	Pérat	62,2	19,8	52,9	47,1
	Banc sous-cavé	56,1	10,6	50,9	49,1
	Gros banc (rebanché)	63,6	17,4	55,9	44,1
	Banc Carri	58,1	12,2	52,2	47,8
	Banc noir	73,9	54,6	42,5	57,5
	Couche du fond	58,3	11,8	52,7	47,3
Houille du ravin de Baleyres, commune de la Bessette (Puy-de-Dôme)		68,2	7,0	65,8	34,2
Houille de Champleix (Cantal)		87,4	27,7	82,6	17,4
		73,2	15,0	68,5	31,5
		68,4	4,5	66,9	33,1

La houille du ravin de Baleyres provient de travaux de recherches exécutés par M. Burin-Desroziers dans la forêt de Varazeunes, commune de la Bessette (Puy-de-Dôme), bassin de la haute Dordogne.

La houille de Champleix provient des travaux exécutés dans la concession de ce nom (Cantal), bassin de Champagnac. Cette concession, inexploitée depuis longues années, a été reprise récemment. Le coke obtenu dans ces essais est bien fondu, boursouflé, argentin; les cendres sont légères, d'un gris un peu rosé.

5° *Minerais de fer.*

	I.	II.	III.
Gangue quartzeuse	28,8	59,0	3,0
Perte au feu	10,8	6,0	14,3
Peroxyde de fer	59,4	35,2	82,8
	99,0	100,2	100,1
Fer métallique	41,2	24,4	57,4

Les échantillons n° I et II proviennent des recherches entreprises par M. Forqueray à Chazoux, près Montaigut-le-Blanc (Puy-de-Dôme); le minerai s'y trouve en boules dans un sable argileux à la base du terrain tertiaire. Le n° 1 est une hématite brune, le n° II un grès à ciment ferrugineux formant un minerai cloisonné.

Le n° 3 provient des recherches exécutées à Fondevialle, commune de Molèdes (Cantal), par la compagnie des aciéries de Firminy.

6° *Randanite de Saint-Saturnin* (Puy-de-Dôme).

	p. 100.
Perte au feu	3,0
Silice	85,5
Alumine et oxyde de fer	8,4
Chaux	2,7
	99,6

1 de randanite sèche absorbe 3,22 d'eau.

L'échantillon est coloré en gris par un peu d'humus; il devient blanc après dessiccation à 100°. Il provient des propriétés de M. Chomette.

VI. — *Note sur la corrosion des chaudières à vapeur par suite de la formation de l'acide sulfurique dans les dépôts laissés par les fumées de la combustion.*

(Extrait par M. CLÉRAULT, ingénieur des mines, secrétaire de la commission centrale des machines à vapeur, d'un rapport présenté par M. DE GROSSOUVRE, ingénieur des mines.)

La commission centrale des machines à vapeur a eu son attention appelée, en 1875, par deux explosions, l'une au puits Glenons (mines de Decize), l'autre aux forges d'Ougrée (Belgique), et, en 1876, par le compte rendu de l'association belge des appareils à vapeur pour 1873 et 1874, sur une cause spéciale d'accident, consistant dans la corrosion des parois extérieures des chaudières par

l'acide sulfurique contenu dans les fumées. (V. *Annales des mines*, t. IX, p. 455 et 462.)

M. de Grossouvre, ingénieur des mines à Bourges, vient de fournir à ce sujet un travail dont il paraît utile de donner un résumé.

Mines de Decize. — A la suite de l'accident du puits Glenons, on a visité tous les autres réchauffeurs de Decize : ils présentaient tous des corrosions analogues.

Usine d'Imphy. — Trois réchauffeurs ont été corrodés extérieurement, deux sur le pourtour des cuissards, au point où les gaz passent des carneaux dans la cheminée; un près des lignes de rivures.

Forges de Fourchambault. — 1° *Chaudière horizontale.* — La tôle a été corrodée extérieurement sur plusieurs centimètres de largeur, le long des arêtes du mur d'appui.

2° *Chaudière verticale chauffée par les flammes perdues des fours à puddler.* — Le pied de la chaudière, protégé par un bouclier, se recouvre de poussières qui rongent les tôles et obligent à de fréquentes réparations.

M. de Grossouvre a pris des échantillons des dépôts extérieurs, à diverses hauteurs, d'une chaudière verticale chauffée par les flammes perdues d'un four, et a trouvé que tous contenaient de l'acide sulfurique en quantité d'autant plus grande que la prise d'essai avait été faite plus haut, dans la proportion suivante :

		p. 100.
Voisinage du coup de feu :	acide sulfurique. . . .	5,61
Partie moyenne de la chaudière :	—	8,84
Partie supérieure de la chaudière :	—	12,24

A la suite de cette étude, et huit ou dix mois plus tard, de nouveaux échantillons ont été pris sur les dépôts extérieurs des chaudières et envoyés au laboratoire de Clermont-Ferrand, où M. Amiot, ingénieur des mines, les a analysés.

Les tableaux ci-dessous indiquent les résultats obtenus.

Analyse des dépôts recueillis sur les parois extérieures d'une chaudière verticale à l'usine de Fourchambault.

I. Bas de la chaudière.
II. Milieu —
III. Haut —

	I.	II.	III.
Eau hygrométrique	5,5	8,0	8,0
Eau combinée	3,3	3,9	3,4
Carbone	0,5	2,7	3,2
Acide sulfurique	7,4	8,1	8,9
Peroxyde de fer	54,1	51,9	53,5
Alumine	1,4	2,5	1,9
Chaux	3,0	2,1	2,8
Magnésie	0,6	0,3	0,3
Silice	23,7	20,0	17,6
	99,5	99,8	99,6

Ces poussières prennent une forte réaction acide quand on les mouille. L'eau leur prend :

	I.	II.	III.
Acide sulfurique	6,9	7,6	8,1
Peroxyde de fer	2,3	3,8	4,2
Chaux	1,0	0,6	0,5

On voit qu'une grande partie de l'acide sulfurique est libre.

Divers faits intéressants ont été relevés par M. de Grossouvre.

Les dépôts se présentent sous la forme d'un enduit blanc rosé avec pellicules noires intercalées. Secs, ils sont pulvérulents ; mais ils attirent rapidement l'humidité et deviennent alors pâteux et plastiques, et, sous cette forme, attaquent les tissus des vêtements.

La corrosion extérieure des chaudières a lieu seulement dans les parties relativement froides, parce que c'est là que les poussières se déposent en plus grande quantité, qu'elles ont la plus forte teneur en acide sulfurique et que la vapeur d'eau peut se condenser. Elles se produisent notamment aux points où l'eau peut intervenir, au voisinage des rivures, etc., enfin partout où, lors du chômage, la poussière n'est pas enlevée, car cette dernière absorbe alors l'humidité de l'air et se transforme facilement en pâte corrosive.

Il est remarquer d'ailleurs que l'étude a porté sur des chaudières consommant toutes des charbons de l'Allier. Or, dans les

usines qui brûlent des charbons triés de bonne qualité, il n'a jamais été constaté aucune corrosion extérieure; ces corrosions ont été, au contraire, très-fréquentes sur les chaudières marchant avec des menus et des déchets de combustible avec schistes pyriteux. Ces faits, mis en évidence, ont permis de remédier aux dangers signalés, et M. de Grossouvre fait connaître les modifications apportées par diverses usines. A Fourchambault et à Decize, par exemple, on a fait porter la voûte portant le carneau sur le réchauffeur, en sorte que la partie supérieure du réchauffeur est en contact direct avec les flammes, qui lèchent la tôle et empêchent le dépôt des poussières sulfureuses; depuis cette modification, les réparations sont devenues très-rares.

Le travail de M. de Grossouvre peut être considéré comme la première réponse faite à l'appel de la commission centrale qui, pour éveiller l'attention des ingénieurs sur ce genre d'explosions, a demandé déjà l'insertion, dans les *Annales*, de deux notes relatives à cet objet (t. IX, p. 455 et 462).

ÉLOGE D'ALEXANDRE BRONGNIART,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES,

Par M. DUMAS, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences (*).

Au moment où l'Académie venait de perdre M. Adolphe Brongniart, l'un de ses membres les plus dignes de respect, par l'importance de ses découvertes, par la droiture de son caractère et par son exquise bonté, on rappelait avec regret que la vie et les travaux de son illustre père, Alexandre Brongniart, n'avaient pas encore obtenu, dans cette enceinte, les honneurs d'un hommage public, et il semblait que nos annales ne devaient pas séparer le souvenir de deux existences étroitement unies par le sentiment scientifique comme elles l'étaient par le sang. Obéissant à cette pensée, je viens, non sans émotion, donner satisfaction au vœu de la compagnie.

Des sentiments de haute convenance ne me permettent pas de louer en toute liberté deux confrères dont la douce affection a fait le bonheur de ma vie. Mais, pour payer à leur mémoire la dette de l'Académie, ne suffira-t-il pas de rappeler la part qui leur revient dans la découverte qui sera l'honneur de ce siècle, celle des grandes lois auxquelles ont été soumises l'apparition des êtres organisés à la surface du globe et la disposition des couches minérales qui en contiennent les débris?

Alexandre Brongniart a montré, le premier, comment l'ordre de superposition des terrains et leur âge relatif sont définis par les restes des animaux contemporains à leur

(*) Extrait de l'éloge d'Alexandre et d'Adolphe Brongniart, prononcé, le 23 avril 1877, dans la séance publique annuelle de l'Académie des sciences.

formation; Adolphe Brongniart a fixé, le premier, les règles à l'aide desquelles cet ordre et cet âge sont signalés par les plantes qui s'y trouvent conservées à l'état fossile. Leurs deux personnalités se sont complétées et, bien que chacune d'elles ait gardé son empreinte propre, elles seront un jour confondues dans un commun souvenir.

La vie de nos deux confrères n'a pas été fertile en incidents; demandant au travail seul des succès légitimes, ils ont ignoré le bruit; insouciants de la fortune, cherchant le bonheur dans l'étude, ils n'ont connu que le milieu paisible de la famille; mais ils peuvent être offerts comme modèles à quiconque préfère aux applaudissements de la foule le souvenir de la postérité et les sympathies de l'assemblée d'élite qui se réunit autour de nous pour glorifier les services et pour honorer la mémoire de ceux qui ne sont plus.

Originaire de l'Artois, où elle jouissait d'une situation notable dès le xve siècle, la famille Brongniart, depuis près de deux cents ans, était fixée à Paris, où d'anciennes alliances l'avaient rattachée à celle de Fourcroy. Théodore Brongniart, père du géologue, architecte éminent, a laissé, parmi de nombreuses créations, deux monuments populaires : la Bourse, qu'il a construite sur ses propres plans et près de laquelle une rue a reçu son nom; le grand cimetière de l'Est, dont il a dessiné toutes les dispositions, où ses restes reposent dans un asile que la ville de Paris lui a consacré.

On ne s'étonnera pas qu'il eût désiré avoir son fils pour successeur, mais un goût passionné emportait celui-ci vers la culture des sciences; rien ne put l'en détourner. Né en 1770, il avait reçu, dès sa première jeunesse, comme un aliment généreux, l'impression forte et durable du succès sans égal de la chimie de Lavoisier, illuminant d'un jour nouveau la philosophie de la nature. C'est elle qui, dès ses premiers pas, lui ouvrit la voie et qui lui servit encore de guide pendant tout le cours de sa carrière. Les maîtres

hésitaient à déclarer leur conversion à cette doctrine admirable, lorsque le jeune Alexandre Brongniart, à peine âgé de seize ans, s'employait avec ardeur à la propager.

Dans une dépendance de l'appartement que son père, alors architecte de l'hôtel des Invalides, y occupait en cette qualité, il avait organisé une salle de cours. Un jour, Lavoisier, depuis longtemps en relation avec la famille du professeur improvisé, trouvant les portes ouvertes, vint s'asseoir modestement parmi les élèves. Exposées avec conviction par la voix de la jeunesse, ses opinions étaient applaudies avec chaleur par des disciples qui, n'ayant rien à oublier, en acceptaient toutes les clartés. Peut-être comprit-il en ce moment, mieux qu'au milieu de ses confrères, toujours troublés ou incertains, que, si l'ancienne chimie n'était pas encore vaincue, l'avenir appartenait à la nouvelle. Il vint avec grâce complimenter le jeune Brongniart, confus de sa témérité, mais heureux d'avoir ignoré qu'il en exposait les lois devant leur immortel créateur, objet de son culte.

Entré à l'École des mines en 1788, Alexandre Brongniart ne tardait point à visiter les houillères de l'Angleterre, et sir Joseph Banks ouvrait au jeune naturaliste sa noble et hospitalière maison, entourée, dès lors, de cette vénération que la science reconnaissante accordait plus tard à celle de Benjamin Delessert, son digne émule parmi nous. De retour en France, appelé à faire partie de l'armée et désigné pour prendre place dans le service de santé sur la frontière des Pyrénées, la passion de notre confrère pour l'histoire naturelle, dont il pressentait qu'une méthode nouvelle allait bientôt rajeunir l'aspect, trouva large satisfaction dans cette contrée méridionale, au pied de hautes montagnes et non loin de la mer : tout y excitait son ardeur.

Mais son séjour dans les Pyrénées, après avoir réalisé les espérances de sa vive curiosité, devait se terminer par une dangereuse aventure. Alexandre Brongniart s'était ren-

contré à Bagnères avec un botaniste célèbre, Broussonet, de l'école de Montpellier, dont le mûrier à papier, ***Broussonnetia papyrifera***, rappelle le nom. De nombreuses courses dans les Pyrénées françaises leur avaient appris combien ils avaient à gagner à mettre leur savoir en commun. Un jour, après avoir obtenu la permission de dépasser les derniers postes français, les deux naturalistes, accompagnés d'un guide, pénétrèrent dans le cirque de Gavarnie, non loin de la brèche de Roland. On était au début du mois de thermidor de l'année 1794, en plein régime de la Terreur. En face des grandes beautés de la nature, il était permis à un jeune homme de vingt ans d'oublier pour un moment les passions et les malheurs de l'époque; le réveil fut prompt. Peu à peu Broussonet s'avança du côté de la frontière espagnole et, malgré les appels répétés de son camarade, convaincu qu'il s'égarait, il la dépassa et disparut.

Mêlé aux affaires politiques du temps, Broussonet, tenté par l'occasion, venait d'échapper, en émigrant, au danger qui le menaçait. Mais il laissait Brongniart, militaire en activité, sous le coup d'une accusation terrible alors, comme complice de son émigration. N'ayant aucune explication à donner de la disparition du compagnon de promenade dont le nom figurait sur le sauf-conduit qui leur avait été accordé, Brongniart fut arrêté sur-le-champ et traîné jusqu'à Pau, non sans péril extrême à travers des populations surexcitées, en attendant le jugement qui devait le conduire à l'échafaud. Le district, sans tenir compte des droits du conseil de guerre, mit le guide au cachot et fit arrêter le commandant du bataillon qui gardait la frontière. Porté à la connaissance du comité de salut public, cet excès de pouvoir n'aurait pas suffi pour assurer une décision favorable à Brongniart, et son sort n'eût pas été douteux, si la chute de Robespierre n'eût amené sa délivrance, après un mois de captivité.

Notre confrère avait voulu faire ses adieux aux Pyrénées par cette excursion à Gavarnie qui s'était si mal terminée; la commission des poids et mesures le rappelait à Paris. En même temps, par les soins de Coquebert de Montbret, qui devait plus tard lui donner un plus grand témoignage de son estime, il était attaché, à titre d'ingénieur, à l'agence des mines. Il visitait bientôt les montagnes de la Provence, les Alpes du Dauphiné, de la Savoie et de la Suisse, enrichissant ses collections, déjà fort appréciées, et multipliant des remarques qui devaient lui inspirer une découverte dont l'éclat et l'utilité, loin de s'affaiblir, augmentent avec les années. Il se trouvait désigné de la sorte, au moment de la création des écoles centrales, pour prendre place, comme professeur d'histoire naturelle, à l'école des Quatre-Nations.

Le grand nombre d'observations qu'il avait recueillies autour de Paris et dans ses voyages, leur variété, leur précision, l'ordre et la méthode qu'il introduisait dans toutes les parties de son enseignement, dont personne mieux que lui n'a possédé le vaste ensemble, avaient produit, sur ses jeunes élèves, une impression profonde. Il a pu, jusqu'à la fin de sa vie, recueillir les plus touchants témoignages du souvenir qu'ils en avaient conservé. La classification des reptiles recevait alors une forme nouvelle d'une de ses inspirations. Le mémoire où il l'exposa plus tard révèle l'instinct sûr des principes de la méthode naturelle et le sentiment profond des rapports de structure qui unissent les êtres d'un même groupe. Fondée, pour le savant, sur l'anatomie et la physiologie, sa division se traduisait, pour le vulgaire, par une nomenclature rappelant avec bonheur les types populaires des quatre ordres : les chéloniens ou tortues; les sauriens ou lézards; les ophidiens ou serpents; les batraciens; tous ces noms sont restés.

Alexandre Brongniart était, dès cette époque, un savant bien connu, et, quoiqu'il eût poursuivi des recherches dans

toutes les branches de l'histoire de la nature, l'étude des animaux l'avait surtout occupé. Ses amis n'apprirent donc pas sans quelque surprise la nomination de Geoffroy Saint-Hilaire comme professeur de zoologie au jardin des plantes. Étienne Geoffroy, plus jeune que lui, était attaché à l'enseignement de la minéralogie et rien n'annonçait à quel rang devait s'élever le futur promoteur de la philosophie anatomique. Leur affection réciproque n'en fut point troublée. Geoffroy m'en donnait lui-même, trente ans après, une preuve naïve. Embarqué pour l'expédition d'Égypte, il fut lancé par-dessus le bord par un accident de mer. Tombé dans les flots et me jugeant perdu, me disait Geoffroy, je m'écriai, près de m'évanouir, comme expression d'une pensée de justice : « Brongniart sera donc professeur au Muséum ! »

L'amitié des deux grands naturalistes, qu'un certain désaccord sur les doctrines ne troublait pas, s'était cimentée dans les réunions familières d'une société qui, pendant les années d'orage, avait remplacé l'Académie et consolé les jeunes savants, la Société philomathique, dont Alexandre Brongniart ne voulut jamais se séparer.

C'est également là que s'établirent les premiers liens destinés à se transformer en une longue et étroite collaboration entre l'Aristote moderne, Georges Cuvier, et Alexandre Brongniart. Leurs caractères se convenaient ; leurs opinions scientifiques étaient les mêmes ; l'étendue de leur savoir embrassait la nature dans son ensemble ; tous les procédés de recherche leur étaient familiers. Préparés à diriger leur attention et leur volonté vers un grand objet, ils étaient sûrs qu'en présence de faits bien coordonnés, leur imagination en apercevrait toutes les conséquences et que leur raison saurait se maintenir dans les limites du vrai. Ils entraient donc, libres d'esprit, dans l'étude de la formation de l'écorce du globe ; ils n'avaient à faire prévaloir, ni l'un

ni l'autre, aucune de ces vastes hypothèses que la théorie de la terre avait eu le don d'engendrer jusqu'alors.

Les contacts, ainsi établis, devaient amener une réforme considérable, une révolution même dans l'étude de la géologie. Tandis qu'un savant allemand célèbre, Blumenbach, professait que la date du dépôt des fossiles ne dépassait pas celle de l'apparition de l'homme sur la terre, Georges Cuvier et Alexandre Brongniart préparaient l'étonnante révélation qui autorisait à faire remonter l'origine de la vie jusque dans les profondeurs des siècles, tandis que la présence des restes de l'homme semblait ne se manifester que dans les terrains les plus récents. Les périodes nébuleuses entre lesquelles le célèbre professeur de l'Université de Gœttingue divisait *à priori* sa chronologie tellurique, s'évanouissaient en face des clartés pratiques de la méthode fondée sur l'observation pure, inaugurée, en 1808, par Cuvier et Brongniart, dans leur célèbre mémoire sur la « Géographie minéralogique des environs de Paris ».

Lorsque deux auteurs ont coopéré à une œuvre considérable, l'opinion hésite sur la part qui revient à chacun d'eux, attribuant volontiers le meilleur rôle à l'un et sacrifiant l'autre. Trop souvent alors ceux que l'amitié et l'étude avaient réunis se trouvent séparés par de regrettables susceptibilités. Rien de pareil ne se produisit entre Cuvier et Brongniart; le plus léger trouble ne vint jamais altérer une affection fondée sur la base solide d'une entière confiance et cimentée par de longues années d'une cordiale intimité.

Ils n'auraient pas eu besoin de le déclarer, le monde savant ne s'y serait pas mépris : Cuvier reconstituait les races perdues des animaux supérieurs, en appliquant à leurs restes les règles de l'anatomie comparée, qu'il venait d'inventer; Brongniart démontrait que les moindres débris de la vie organique, et surtout les coquilles fossiles, caractérisent les couches qui les renferment et marquent leur

place dans la chronologie géologique dont l'étude l'avait si longtemps occupé; ensemble, ils écrivaient l'histoire de la formation du bassin de Paris, devenu sous leurs mains le type légendaire des terrains de sédiment.

La seule partie de notre planète qui nous soit connue ne dépasse guère quelques kilomètres de puissance, c'est-à-dire une épaisseur comparable, relativement à son diamètre, à celle de la couche de vernis qui enduit les globes préparés pour l'étude de la géographie. Sur ces globes, un grain de poussière représenterait le relief de nos plus hautes montagnes, une égratignure le sillon de nos vallées les plus profondes. Un illustre géologue saxon, Werner, avait appris à diviser ce mince domaine en deux étages, séparés par un terrain de transition : l'étage supérieur, formé avant l'apparition des êtres organisés, l'autre postérieur à cette apparition.

Cuvier et Brongniart allèrent plus loin. Ils mirent en évidence l'existence d'un troisième étage formé de sédiments déposés au fond des eaux, celui des terrains tertiaires, constituant le bassin de Paris, auquel des études ultérieures vinrent réunir le bassin de Londres, les environs de Bruxelles, de Bordeaux, de Marseille, et même le bassin de Vienne avec les plaines du Danube, le bassin de Venise avec les plaines de l'Adriatique, enfin des exemples appartenant à toutes les parties du globe.

Ajouter aux deux étages de Werner un troisième étage géologique aussi répandu, c'était un événement. Mais à ce service rendu à la science s'en joignait un autre. Les terrains tertiaires ne forment point des masses homogènes, ils se subdivisent en couches distinctes et nombreuses. Pour caractériser chacune d'elles, il fallut créer une méthode, et celle-ci permit non-seulement de les classer, mais de mieux définir les coupes des terrains secondaires plus anciens, de reconnaître l'existence de terrains quaternaires plus récents, de démontrer enfin que les couches sédimentaires

forment une série continue, commençant aux terrains de transition et finissant aux alluvions actuelles.

Dans les environs de Paris, Cuvier et Brongniart constatèrent l'œuvre distincte de trois mers, qui, après l'avoir occupé chacune au cours de longs siècles, l'avaient abandonné pendant des périodes non moins prolongées. Des lagunes ou des lacs d'eau douce, intervenant, avaient à leur tour formé les couches qui séparent les dépôts marins et le terrain d'alluvion qui les recouvre. Dans la vallée de la Seine, sur le sol même de Paris, avant que l'homme en eût pris possession, avaient vécu des animaux analogues aux lamentins et aux phoques des mers polaires, aux crocodiles de l'Inde, aux mammifères étranges de l'Australie, aux éléphants de l'Asie et aux rhinocéros de l'Afrique.

Comment se retrouver dans ce dédale? Brongniart, les géologues s'en souviennent et la France ne doit pas l'oublier, saisit le fil conducteur, il créa la méthode. Dans la partie géologique de l'œuvre commune, il ne négligea rien: caractères minéralogiques, superpositions, distribution géographique des masses, tout fut traité avec une magistrale supériorité. Démontrant la valeur absolue des preuves fournies par la nature des fossiles contenus dans les couches du sol, il apprit, en donnant un sens précis à l'expression imagée de Fontenelle, si souvent répétée, à les considérer comme autant de médailles capables de fournir la date de leur dépôt.

Cuvier reporte tout entier à Brongniart le mérite de ces découvertes géologiques et lui en réserve l'honneur. Bientôt, en effet, tandis qu'il étonnait le monde entier par la certitude et l'éclat de la résurrection des grandes espèces perdues, Alexandre Brongniart, moins populaire, s'adressant à un auditoire plus restreint, n'étonnait pas moins les géologues cependant, en démontrant que le calcaire noir, compacte et dur, placé bien loin de la vallée de la Seine, au sommet de la montagne des Fiz, en Savoie, est contem-

porain des assises inférieures de la craie poreuse et friable du sol parisien, voisine du niveau de la mer. Nous pourrions ajouter qu'il s'étonnait lui-même d'être amené, par une application hardie et qu'il qualifiait d'étrange de sa nouvelle méthode, à réunir, comme ayant une origine commune, les roches calcaires, compactes et noires aussi, du sommet très-élevé des Diablerets au nord-est de Bex, avec les bancs exploités près de Paris comme pierres de taille.

Au milieu des Alpes, dans ces contrées où s'était immortalisé de Saussure, il plantait ainsi, de la manière la plus inattendue, des jalons d'une science nouvelle qui sont toujours debout, — écrivait, vingt-cinq ans après, un géologue illustre, Élie de Beaumont. « L'*Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris*, ajoutait-il, où sont posées les premières règles des déterminations zoologiques de la caractérisation des formations, est resté le type classique des travaux de ce genre. Alexandre Brongniart, pénétrant avec un enthousiasme aussi prudent que fécond dans le vaste domaine entrevu avec tant de sagacité, devint, en peu d'années, le législateur de cette partie si nouvelle alors et si importante de la géologie. Il en fixa les lois par des exemples, qui sont en pareille matière les plus solides de tous les préceptes. Semblable à ce philosophe grec devant qui on niait le mouvement, il a marché dans cette carrière avec une infatigable ardeur et chacun de ses pas fut marqué par une découverte. »

De telles nouveautés, devenues aujourd'hui des vérités élémentaires, suscitent à leur apparition des objections, des doutes, des critiques de tout genre qui ne furent point épargnées à Brongniart. Il y répondit par des démonstrations de plus en plus incontestables. Comparant, en effet, le plus souvent par lui-même et sur les lieux, des terrains encore mal définis de quelques parties de la France, de l'Angleterre, de l'Allemagne, de la Hongrie, de la Suisse, de l'Italie, de l'Espagne et même de l'Amérique, il prouva

leur identité avec les couches du sol de Paris, et il établit ainsi, sur des faits certains, la vaste étendue occupée par les terrains tertiaires qu'un habile observateur vient de retrouver même en Australie.

Cuvier et Brongniart s'étaient partagé le soin de rétablir les annales du passé : le premier, anatomiste incomparable, en recomposant les animaux supérieurs dont la terre avait été peuplée ; le second, géologue profond, en donnant aux fossiles la valeur de titres authentiques déposés dans les couches de l'écorce terrestre pour en constituer l'état civil. On n'a rien ajouté aux règles empruntées à l'anatomie comparée, dont Cuvier avait découvert l'heureuse application, et tous les jours on parvient à rétablir, à son exemple, la charpente d'un animal au moyen de quelques ossements isolés et à refaire son histoire. Les formules données par Brongniart continuent à indiquer, malgré l'éloignement des lieux, les formes variées des montagnes et les diversités des terrains, comme étant d'une date relative identique, les couches sédimentaires qui présentent un grand nombre de fossiles doués d'une ressemblance générale, et, comme étant d'époques distinctes, celles dont les fossiles diffèrent.

Dans ces découvertes qui caractérisent une époque scientifique, rien ne fut donné par le hasard. Cuvier s'appuie sur un principe philosophique : toutes les parties d'un être ont des relations mutuelles, dont le but est d'assurer son existence ; chaque être, ayant une fonction propre, doit avoir des formes en rapport avec cette fonction ; la loi des conditions d'existence étant admise, un fragment de l'une des parties caractéristiques d'un animal en fait connaître la classe, l'ordre, la famille, le genre, l'espèce, et apprend même sa manière de vivre. Une seule dent d'un animal qui se nourrit de chair suffit à prouver que ses organes digestifs avaient été disposés pour cette sorte d'aliments. Ses organes du mouvement et ses organes des sens

avaient été construits en conséquence, pour le rendre habile à reconnaître, à poursuivre, à saisir une proie et à s'en rendre maître. S'il n'en eût pas été ainsi, comment cet animal aurait-il pu subsister?

Ce que ne dit pas cet exemple familier, c'est l'immense étude de la forme des organes des animaux et la connaissance intime de leurs rapports qui donnaient à Cuvier cet instinct délicat et prompt mis au service de la paléontologie. Un fragment osseux était-il placé sous ses yeux, sa pensée rétablissait sur-le-champ le membre dont il avait fait partie, rattachait celui-ci au squelette auquel il avait appartenu, et son crayon sûr traçait les contours de quelque animal fantastique, qui semblait renaître sous sa main puissante, après des milliers de siècles d'oubli dans son enveloppe de pierre. La noble figure de Cuvier, toujours imposante, restée calme, au milieu des assistants vivement émus, représentait le génie de la synthèse, accomplissant sans effort son œuvre presque divine.

Après avoir reconstitué vingt-trois espèces de quadrupèdes fossiles inconnus à l'état vivant, Cuvier n'hésite pas à conclure qu'on trouve, sous le sol de tous les pays, des os presque toujours différents de ceux des animaux qui en habitent aujourd'hui la surface. Mais les ossements de ces grands animaux, qui pour vivre avaient besoin d'un large domaine, sont naturellement rares; on peut remuer toute une carrière sans en rencontrer la moindre trace; et, si leur présence peut caractériser les terrains qui les renferment, elle ne saurait fournir le moyen d'en déterminer pratiquement la date géologique.

Brongniart, plus heureux de ce côté, étudie toutes les coquilles fossiles connues; il les compare avec les coquilles actuelles. Certaines espèces vivent dans l'eau salée; d'autres dans les eaux douces; d'autres enfin dans les eaux saumâtres et, de leur présence, on peut déduire dans quelles conditions s'est formé le sédiment qui les récèle. Les restes

de ces êtres inférieurs, menus et parfois microscopiques, qui se sont contentés de la moindre pâture, sont innombrables; il est des terrains tout entiers qui sont formés de leurs débris, véritable poussière de la vie. La surface du globe est à leur égard comme un vaste cimetière; et, quand le géologue interroge le sol, ce n'est plus de quelques ossements gigantesques çà et là dispersés, mais de la tombe même de cette plèbe de l'ancien monde partout répandue, que s'élève la réponse.

L'existence de coquilles semblables ou plutôt d'une faune identique, dans deux couches du sol semblables aussi, mais éloignées, prouve, malgré la distance, que les mollusques qu'elles représentent y ont vécu dans un milieu et dans des conditions comparables, et que ces deux assises sont de formation contemporaine.

Mais faut-il assigner la même date à deux terrains qui renferment les mêmes êtres organisés, quoique leur composition minérale n'ait rien de commun? Brongniart avait déjà parcouru tant de pays et comparé tant de dépôts fossiles que, lorsqu'il devint nécessaire de résoudre la question, il n'hésita pas. Tandis qu'on inclinait à considérer la nature des roches comme le caractère le plus propre à régler la chronologie géologique, il soutint le contraire. Des roches de nature très-diverses, disait-il, peuvent se former dans le même moment sur divers points du globe. Ne voit-on pas se produire à la fois, autour du Vésuve des laves, au fond des eaux des calcaires, près du Geyser des concrétions siliceuses? Ces formations minérales, absolument différentes, ne viennent-elles pas recouvrir ou envelopper cependant des restes organiques identiques, appartenant tous à un type commun, celui du temps présent? La nature des roches dépend d'un accident local, celle des fossiles représente l'état général de la vie dans de vastes régions, sinon sur le globe entier.

Si l'objet principal de la géologie consiste à distinguer

les époques qui se sont succédé dans la formation de l'écorce terrestre et à reconnaître quels sont les terrains qui se sont formés à peu près à la même époque, les débris de la vie fournissent donc les meilleures indications, quand on envisage la faune tout entière. Pour que les générations aient pris cette physionomie générale, qu'on ne peut pas toujours définir, mais qu'on ne méconnaît jamais, il leur faut des siècles, et c'est ainsi que l'époque géologique, correspondant à la formation d'un étage sédimentaire, se confond avec l'époque biologique, caractérisée par l'analogie des types organiques, dont la ressemblance générale constitue un élément de premier ordre en géognosie.

Pour manier avec sûreté ces idées nouvelles et pour en faire une application digne de confiance, il fallait joindre, à une connaissance profonde du sol, un sentiment délicat de la méthode naturelle qui préside au classement des êtres organisés. Alexandre Brongniart, également doué des deux côtés, avait eu tant d'erreurs à redresser qu'il avait reconnu la nécessité de former une école. S'il eût été chargé de l'enseignement de la géologie, il eût fait de sa chaire un centre de propagande pour les vues qu'il apportait à la philosophie naturelle. Professeur de minéralogie, il n'avait sous ce rapport aucune influence à exercer; il tourna la difficulté.

Le seul jour qu'il se crût permis de dérober aux travaux de Sèvres, le dimanche, fut consacré à la science. Si, le soir, son salon offrait à tous les esprits d'élite un centre recherché, dès le matin, son cabinet était ouvert à quiconque voulait se livrer sérieusement à l'étude.

Les jeunes gens, guidés par notre regretté confrère Victor Audouin, depuis longtemps le plus cher de ses élèves, qu'un lien plus étroit avait rattaché à sa famille et qu'une mort prématurée devait enlever à notre affection, examinaient les belles séries géologiques de sa collection. Les maîtres, Léopold de Buch, de Humboldt, de Verneuil,

Desnoyers, Constant Prévost, Ami Boué, de la Jonkaire, d'Orbigny, Boussingault, Delesse, ou plutôt tous les contemporains venaient communiquer les résultats de leurs observations. Une discussion amicale sur leur interprétation s'élevait-elle, la réponse apparaissait bientôt dans quelque pièce anatomique, dans quelque suite géologique, dans quelque variété minéralogique, sur lesquelles, grâce à un ordre admirable, Alexandre Brongniart mettait la main sans hésiter. D'un coup d'œil, roches, fossiles, minéraux, tout était reconnu et la localité précise d'où provenait la récolte était indiquée. Le génie de l'analyse n'a jamais été plus vivement représenté que par cette intuition infaillible, rapide et surprenante.

Au moment où la publication de la carte géologique de la France fut décidée, Élie de Beaumont et Dufrénoy devinrent les hôtes assidus d'une maison, asile de la science, que, par une heureuse coïncidence, habitaient à la fois trois amis : Coquebert de Montbret, promoteur de l'entreprise ; Brochant de Villiers, leur chef officiel, familier avec les anciennes méthodes de Werner pour l'étude des terrains primitifs ou intermédiaires; Brongniart, leur guide officieux, prêt à les diriger dans les sentiers nouveaux de l'étude des terrains de sédiment.

Pendant quarante années consacrées à cet enseignement pratique, il eut la satisfaction de diriger les géologues dans leurs explorations et de dire le dernier mot sur les résultats qu'ils croyaient en avoir recueillis. Plein de feu devant une vérité mise en lumière ; plein de mansuétude devant une erreur à redresser, sa pensée active ne laissait échapper aucun détail, sa parole vibrante animait tout son entourage et, lorsque, mis en présence d'une question douteuse ou d'informations d'un caractère indécis, il était amené à faire intervenir son jugement si droit et son instinct si sûr, les esprits les plus rebelles étaient forcés de s'incliner avec déférence devant l'oracle qu'ils étaient venus interroger.

C'est par ces leçons familières qu'Alexandre Brongniart exerça, sur le mouvement de la science, l'influence permanente qui a créé la stratigraphie, base de la géologie. La théorie de la terre entrait ainsi pour toujours dans la phase de l'observation positive, et la France, les géologues de tous les pays le proclament, ajoutait un fleuron de plus à sa couronne scientifique.

Les couches de l'écorce terrestre, de ce livre de la création, étaient longtemps restées muettes. Alexandre Brongniart en ayant retrouvé la pagination, Élie de Beaumont, qui se disait avec modestie son élève, démontra bientôt que les montagnes en s'élevant ont emporté ou redressé tous les feuillets existants sur le sol, et que ceux qu'on observe en couches horizontales à leur pied s'y sont formés après ce bouleversement. Le phénomène avait donc eu lieu après le dépôt des couches redressées, avant celui des couches qui ne l'étaient pas. La chronologie des terrains sédimentaires, à peine établie, contribuait ainsi à fixer la date relative de l'apparition des chaînes primitives, venait rajeunir ces monts aux sommets sourcilleux, ossements de la Terre, qu'on avait crus jusqu'alors les plus anciens monuments du globe, et signalait comme nés d'hier les Alpes, le mont Blanc et le Saint-Gothard, dont le soulèvement est postérieur au dépôt des terrains tertiaires du bassin de Paris. L'apparition de ces géants des montagnes européennes sur le relief du sol coïncide donc avec la disparition des animaux gigantesques de l'ancienne Europe et n'est pas étrangère, sans doute, à leur destruction.

Si le progrès des idées compte dans l'avoir d'un pays et s'il constitue même une marchandise d'exportation, prompte à dépasser les frontières et à porter au loin le renom et l'influence morale de la nation d'où elle émane, quelle acquisition de la science a mieux mérité ce titre que la découverte des principes de la stratigraphie, se répandant sur toutes les contrées civilisées, signalant les tré-

sors cachés sous le sol, guidant l'ingénieur dans la direction de ses travaux, donnant une base précise à la théorie de la terre et reconstituant l'histoire de la création ? Voilà le genre de valeurs que l'Académie produit et qu'elle exporte, enrichissant tous les peuples sans appauvrir la France, et contribuant à lui assurer au milieu d'eux ces respects involontaires qui survivent même au malheur.

Ne trouvons-nous pas une preuve et un reflet de ce sentiment dans le bel ouvrage que M. Alphonse Favre vient de consacrer à la géologie de la Savoie, du Piémont et de la Suisse, sa patrie, lorsque l'auteur, résumant d'un mot cet éloge, s'écrie : « L'admirable mémoire d'Alexandre Brongniart sur les caractères zoologiques des formations fut un progrès immense pour la géologie et donna existence à la paléontologie. »

Le *Traité de minéralogie* d'Alexandre Brongniart, ses mémoires, sa collaboration savante au grand *Dictionnaire des sciences naturelles*, son tableau des terrains, sont des œuvres où se résume une expérience consommée et qui sont faites pour servir longtemps de modèle. Un autre aspect de son existence mérite un souvenir particulier.

La situation d'Alexandre Brongniart à la manufacture de Sèvres se rattache, en effet, à la science par son origine, comme par ses résultats. Pendant le voyage qu'il avait fait en Angleterre, dans sa jeunesse, il avait suivi avec curiosité les opérations à peine connues de l'art de l'émailleur et il en fit le sujet d'une notice, qui fut publiée à son retour : ce travail, qui n'avait rien de commun avec l'histoire naturelle, objet unique alors de ses prédilections, eut sur sa carrière une influence décisive. La manufacture de porcelaine de Sèvres, gouvernée par un comité, était tombée dans un grand désordre, auquel le premier consul voulut porter remède en confiant sa direction à un chef unique, capable de relever ce bel établissement de ses ruines. Obéissant à une inspiration heureuse, Berthollet lui pré-

senta, en 1800, Alexandre Brongniart, comme préparé mieux que personne à remplir cette mission. Ses études scientifiques, ses connaissances techniques et les rapports habituels de sa famille avec tous les grands artistes de l'époque semblaient le désigner, en effet.

Notre confrère accepta ce titre; il avait besoin d'assurer son existence; il venait de contracter l'union la mieux assortie qui devait lui garantir le bonheur le plus pur, avec la fille d'un membre libre de cette Académie, M. Coquebert de Montbret, savant distingué, qui attachait bientôt son nom, comme représentant de la France à Londres, au célèbre traité de la paix d'Amiens, salué par l'Europe avec une joie si universelle, mais si courte, hélas !

Directeur, pendant près d'un demi-siècle, de cette manufacture héritière des découvertes de Réaumur, de Guettard, de Macquer, nos illustres devanciers, où il devait être remplacé lui-même par Ebelmen, puis par M. Regnault et que son histoire confond ainsi avec celle de l'Académie, Alexandre Brongniart y a laissé des souvenirs ineffaçables, respectueusemet conservés, en associant à la haute réputation du savant un heureux mélange de droiture, de fermeté et de prudence.

Sous son administration active et prévoyante, la manufacture de Sèvres, grâce à l'intervention régulière de la méthode scientifique dans tous les détails de ses travaux, prit le premier rang. La blancheur de ses pâtes, le glacé de ses couvertes, la perfection de ses formes, la légèreté de ses pièces de service, les grandes dimensions de ses pièces décoratives, la beauté de ses couleurs, lui assuraient dans le monde une suprématie incontestée.

C'est également en appliquant les principes de la méthode scientifique qu'Alexandre Brongniart conçut la pensée et poursuivit la création du musée céramique, devenu bientôt populaire. L'art du potier emprunte les théories de la science, les ressources de la technologie, les finesses de

l'art ; il s'élève des briques, des tuiles et des objets de ménage les plus grossiers, aux vases élégants que leur forme pure, leur décoration délicate et leurs brillantes couleurs désignent pour l'ornement des plus riches demeures. Les terres cuites étant inaltérables, le moindre de leurs débris, façonné dans les temps anciens et laissant sur le sol l'empreinte de l'homme, a suffi pour signaler le premier indice d'un commencement de civilisation et pour rendre, au profit des siècles reculés, les services que l'imprimerie promet aux siècles futurs. Que d'informations seraient perdues pour nous, si les bibliothèques assyriennes n'avaient été formées de plaques d'argile cuite et si le respect n'avait associé plus tard aux restes des morts les vases en terre que nous retrouvons intacts dans ces tombeaux, où les ossements de leurs possesseurs se sont réduits en poussière !

Réunir les poteries de toute sorte, les argiles qui leur donnent naissance, les modèles des appareils et des fours employés à leur manipulation ou à leur cuisson, emprunter à tous les pays et à tous les âges les types de cette industrie, si profondément liée au mouvement et au progrès de la civilisation, telle a été la conception première de la fondation du musée céramique, image sensible de l'union étroite de la science, de l'industrie, de l'art et de l'histoire.

De ses nombreux voyages en France, en Angleterre, en Italie, en Suisse, en Allemagne, en Suède, en Norwége, entrepris pour étudier les points signalés à son attention par les progrès de la géologie, Alexandre Brongniart revenait les mains pleines des dons que sa réputation européenne avait valus au musée céramique. Marins, diplomates, voyageurs, industriels, chacun apportait son tribut. A mesure que l'importance de cette collection s'accroissait, la liste civile lui assurait le concours des personnes qu'elle chargeait de missions spéciales. C'est ainsi que notre vénéré confrère, M. le baron Taylor, enrichit le musée de Sèvres, où son nom est cité mille fois, d'une foule d'objets recueil-

lis de ses mains, de tous les produits de la céramique espagnole et, en particulier, de ces grandes pièces de cinq mètres de hauteur, qui donnent une si juste idée du célèbre tonneau de Diogène.

Alexandre Brongniart fut assez heureux pour terminer, au milieu des matériaux réunis pendant quarante années, son *Traité classique des arts céramiques*, et pour le publier lui-même.

Peu de temps après, il était enlevé à la science, vaincu par une maladie dont il avait prévu l'issue funeste, mais à laquelle avaient résisté, jusqu'à la dernière heure, son ardeur pour l'étude, son admiration pour les beautés de la nature, l'austérité de ses habitudes stoïques et ses tendresses prévoyantes pour une famille étroitement unie, dont il était l'âme. Sa compagne vénérée, qui, après un demi-siècle de bonheur commun et de confiante affection, devait être conservée, pendant quelques années encore, à l'affection des siens et au respect de tous, avait répandu une douceur infinie sur l'intérieur patriarcal dont elle était le plus grand charme par la bonté de son cœur, la solidité de son esprit, l'étendue de ses lumières et l'ineffable dignité de sa vie.

MÉMOIRE

SUR

LA GÉOLOGIE DE KONGSBERG (NORWÉGE)

Par M. G. ROLLAND, ingénieur des mines.

Les fahlbandes et les filons argentifères de Kongsberg sont célèbres. Il a été souvent écrit et beaucoup discuté sur ce vieux district minier, visité à différentes époques par de nombreux géologues norwégiens, français et allemands.

Haussmann (*), en 1807, et, après lui, Böbert (**), sont, à ma connaissance, les premiers auteurs qui aient traité de la géologie de Kongsberg. M. A. Daubrée (***), en 1843, puis J. Durocher (****), en 1849, ont décrit, dans les *Annales des mines*, les dépôts métallifères de la Scandinavie, et, entre autres, le gîte de Kongsberg. En 1860, MM. Th. Kjerulf et T. Dahll (*****) ont fait paraître, sur le district argentifère, une étude, dont un résumé a été donné par MM. Delesse et Laugel (******) dans la *Revue de géologie* pour

(*) Haussmann : *Reise duch Scandinavien* (1806-1807); tome II, page 1.

(**) Böbert : *Uber den Kongsberger Bergbau. — Karstens Archiv.*; tome XVI, page 267.

(***) A. Daubrée : *Mémoire sur les dépôts métallifères de la Suède et de la Norwége. — Annales des mines*, 4ᵉ série, tome IV, page 257.

(****) J. Durocher : *Observations sur les gîtes métallifères de la Suède, de la Norwége et de la Finlande. — Annales des mines*, 4ᵉ série, tome XV, page 351.

(*****) Th. Kjerulf et T. Dahll : *Om Kongsbergs Ertsdistrikt*; deustch von W. Christophersen. Christiania, 1860.

(******) Delesse et Laugel : *Revue de géologie* pour 1862 et 1863, tome III, page 156.

1862 et 1863. En 1865, M. Th. Kjerulf (*) examinait, dans un rapport à la Chambre des représentants de Norwége, la question de l'influence enrichissante des fahlbandes sur les filons. En 1865 également, M. Holmsen donnait la carte géologique de la mine du Roi. En 1868, M. C. F. Andresen (**) démontrait l'existence de deux systèmes de filons calcaires, dont un seul argentifère. Dans la même année, M. Th. Hjortdahl (***) trouvait une formation quartzo-aurifère.

D'autre part, les travaux de la carte géologique de la Norwége méridionale (****), commencés en 1858, ont fait mieux connaître les terrains anciens de ce pays, auxquels la géologie de Kongsberg est intimement liée. M. Th. Kjerulf publie, sous forme de programme de l'Université de Christiania, l'état actuel des connaissances sur la géologie de la Norwége méridionale. Deux livraisons ont déjà paru, la première en 1871 sur la roche fondamentale (*****), la seconde en 1873 sur le terrain sparagmitique (******).

Au cours d'un voyage entrepris par moi en Suède et en Norwége pendant l'été et l'automne de l'année 1875, j'ai visité à mon tour, ce district classique de Kongsberg. Il m'a été donné d'y recueillir des renseignements inédits et

(*) Th. Kjerulf : *Betænkning af den ved Kongelig Resolution af 10 de Juli 1865 naadigst nedsatte Commission angaaende Kongsberg Sölvværk.*

(**) C. F. Andresen : *Om Gangformationen ved Kongsberg.* — Communication à la section de minéralogie et de géologie de l'Université de Christiania, 1868.

(***) Th. Hjortdahl : *Om Underberget ved Kongsberg og om Guldets Forekomst sammesteds.* — Communication au collége académique de l'Université de Christiania; Christiania, 1868.

(****) Th. Kjerulf et T. Dahll : *Geologisk Kart over det Sönden fjeldske Norge.* Christiania, 1866.

(*****) Th. Kjerulf : *Om Skuringsmærker, Glacialformationen, Terrasser og Strandlinier.* — I. *Grundfjeldet.* Universitetsprogram for förste halvaar 1870. Christiania, 1871.

(******) Th. Kjerulf : II. *Sparagmitfjeldet.* Universitets program for andet halvaar 1872. Christiania, 1873.

d'y faire moi-même un certain nombre d'observations.

Je me suis proposé de donner une description nouvelle de la géologie de Kongsberg, telle qu'elle résulte de cet ensemble intéressant de travaux. C'est l'objet de ce mémoire, dans lequel j'ai coordonné le fruit de mes études personnelles avec des emprunts librement faits aux publications antérieures.

Avant d'entrer en matière, je tiens à remercier ici M. Kjerulf, qui a bien voulu m'honorer de ses conseils, ainsi que MM. Andresen, Stalsberg, et les autres ingénieurs de Kongsberg, auprès desquels j'ai trouvé l'accueil le plus bienveillant et le concours le plus empressé.

PREMIÈRE PARTIE.

Orographie des environs de Kongsberg. — La petite ville de Kongsberg, siége de la direction des mines d'argent natif de l'État norwégien, est située dans la Norwége méridionale, au sud-ouest de Christiania, sur la rive droite du Laugen-Elv. Le district minier occupe une superficie d'environ 430 kilom. carrés; il est représenté par la *fig.* 1 de la Pl. VIII, qui est une reproduction à échelle réduite de la carte géologique dressée en 1859 par M. T. Dahll avec la collaboration de M. Th. Kjerulf.

La seule formation sur toute cette étendue est la *roche fondamentale*, ou, comme on dit plus généralement, *le gneiss*, — sauf un lambeau de terrain silurien vers le sud, et des dépôts alluviens et postglaciaires dans les vallées. A l'Ouest apparaît un champ éruptif de *granite ancien;* il occupe une bande nord-sud de 50 kilom. de long environ et de 10 kilom. de large en moyenne, laquelle sépare le

district de Kongsberg du Thelemark, vaste contrée formée tout entière du même gneiss (*).

Tandis que la région occupée par le granite ancien a un relief peu accidenté, le gneiss relevé presque verticalement imprime de part et d'autre au paysage un facies mouvementé et irrégulier. Le sol y est très-découpé; nulle part de plaine ni de large plateau; partout des collines escarpées, sinon élevées, et allongées en dos d'âne; ce sont les *aas*, que séparent d'étroites vallées. L'aspect général est sauvage; ce ne sont que rochers, tantôt nus avec le polissage et les stries glaciaires, tantôt recouverts d'un peu de terre végétale avec des pins et des bouleaux.

Cà et là apparaissent des dômes aux cimes arrondies et aux flancs escarpées, quelques-uns élevés, tels le Jonsknud et le Dronningkoll, sur lesquels on remarque une plus belle végétation. Ces dômes sont en *gabbro* éruptif. Le gabbro occupe en outre des parties dont le relief n'attire pas l'attention. Il forme deux champs principaux, allongés du sud au nord, dans le prolongement l'un de l'autre, l'un à l'ouest de Kongsberg sur l'Overberg et le Jondalskoll, l'autre au nord du district minier à Vinoren. Mais il apparaît encore en une foule de points isolés et peu saillants.

Le cours du Laugen au travers du district argentifère affecte deux directions principales; au nord, le fleuve vient de l'ouest; à 15 kilom. environ au-dessus de Kongsberg, il fait un coude, et descend ensuite sensiblement du nord au sud. Il reçoit deux affluents principaux, le Jondals-Elv en amont de la ville, et le Kobberbergs-Elv en aval, tous deux venant de l'ouest. Le quadrilatère de 12 kilom. carrés environ, compris entre le Jondals au nord, le Laugen à l'est, le Kobberbergs au sud, et les confins du granite

(*) *Carte géologique de la Norwége méridionale*, par MM. Th. Kjerulf et T. Dahll.

ancien à l'ouest, comprend la partie la plus importante du champ métallifère de Kongsberg; là se trouvent les principales fahlbandes et les filons argentifères les plus riches.

C'est sur le bord occidental, de ce quadrilatère que se dresse la cime du Jonsknud, haute de 870 mètres, point le plus élevé de la contrée, sommet en gabbro éruptif d'un dôme enveloppé d'un manteau de gneiss à sa base, escarpé de tous côtés, et tombant à pic vers l'ouest. Les touristes font souvent l'ascension du Jonsknud. De ce point culminant, on jouit d'une vue étendue et l'on peut juger de l'orographie des environs.

A l'ouest, on a sous ses pieds le champ de granite ancien relativement peu accidenté. Dans le lointain s'élèvent vers le ciel les shistes cristallins du Thelemark; c'est le grand massif du Bjefjeld, aux formes découpées et anguleuses, à la couleur sombre et à l'aspect sauvage, aux sites renommés et bien connus des voyageurs.

Au sud, l'horizon est également fermé par une ligne de crêtes dirigées de l'est à l'ouest et aussi élevées que le Jonsknud. Ce sont les montagnes du Skrimfield, où le granite et la syénite postérieurs (*) apparaissent recoupant le terrain silurien.

A l'est, on aperçoit d'abord au pied du Jonsknud un grand espace occupant environ la moitié de la distance qui sépare de la ville de Kongsberg, sorte de plateau accidenté dont les attitudes varient entre 480 mètres et 600 mètres : c'est le plateau de l'Overberg. Il est allongé du sud au nord et se termine au nord par une pente brusque vers le Jondals. On y remarque de nombreux petits lacs, dans lesquels les eaux de pluie sont amenées et recueillies, pour être ensuite dirigées sur les mines et y créer la force motrice. Le champ éruptif de gabbro, auquel se rattache le Jonsknud, couvre une grande partie de l'Overberg. Le long du bord oriental

(*) Voir l'appendice, page 483.

de ce plateau, passe la grande fahlbande, qui a une direction nord-sud, comme toutes les fahlbandes de Kongsberg.

Si l'on porte ses regards plus loin vers l'est, on voit au delà et en contre-bas de l'Overberg, un second étage parallèle. C'est le plateau de l'Underberg, dont l'altitude varie entre 240 mètres et 300 mètres, long, étroit et peu découpé, allant de la vallée du Kobberbergs à celle du Jondals. La seconde fahlbande principale passe le long de l'Underberg. On y remarque les haldes nombreuses des anciennes mines, d'où l'on tirait autrefois l'argent aurifère. Le flanc oriental de l'Underberg descend ensuite par une série de pentes escarpées jusqu'au lit du Laugen, au bord duquel est située la ville de Kongsberg, élevée de 154 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Cependant, du point où l'on est placé, on aperçoit encore, immédiatement au nord de Kongsberg, et en deçà du Laugen, une chaîne de collines nord-sud séparée de l'Underberg par une vallée plus ou moins nette. La principale de ces collines est la Storaas, qui surpasse de 100 mètres l'Underberg.

De l'autre côté du Laugen, le sol est moins découpé ; une succession de pentes peu rapides s'élèvent jusqu'aux hauteurs du Holtefjeld, au nord-est du district ; l'altitude y est d'environ 600 mètres.

Enfin, au nord du quadrilatère déjà décrit, s'en trouve un second beaucoup plus allongé, et limité : au sud par le Jondals, à l'est et au nord par le Laugen, à l'ouest par les confins du granite ancien. Il est occupé par un plateau assez accidenté, ayant même niveau que celui de l'Overberg, dont il est le prolongement, mais dont il a été séparé par la vallée de Jondal, grande cassure aux flancs escarpés. Le champ de gabbro de l'Overberg se retrouve et termine de l'autre côté de la vallée ; il y forme le dôme du Jondalskoll. Les deux masses de gabbro qui encaissent ainsi la vallée se dressent comme les deux montants de la

porte qui ouvre le district de Kongsberg, quand on vient du granite ancien. Des versants également très-raides limitent le grand plateau en question au nord et à l'est, vers le Laugen. Des pentes moins nettes et moins rapides le relient au champ de granite à l'ouest.

La partie septentrionale du plateau s'appelle Vinoren; là se trouve le second champ de gabbro au sud duquel se dresse le dôme du Dronningkoll, haut de 734 mètres, point le plus élevé du district après le Jonsknud.

La carte géologique de MM. T. Dahll et Th. Kjerulf (*fig.* 1, Pl. VIII) est accompagnée d'un profil suivant la vallée de Jondal, depuis le lac Bolkesjö jusqu'au Laugen; ce profil est reproduit par la *fig.* 2, Pl. VIII.

I. — LES ROCHES DE KONGSBERG.

§ I. LA ROCHE FONDAMENTALE ET LE GRANITE ANCIEN.

I. ÉTAT ACTUEL DES CONNAISSANCES AU SUJET DE LA ROCHE FONDAMENTALE ET DU GRANITE ANCIEN.

La roche fondamentale et le granite ancien forment en grande partie le sol de la Norwége méridionale (*). C'est leur ensemble que l'on désignait, il y a une vingtaine d'années encore, sous la qualification générale de *gneiss norwégien*, sans distinguer les parties cristallines, mais stratifiées, des parties parfois feuilletées, mais éruptives. La plus grande confusion régnait à ce sujet avant les travaux de MM. Th. Kjerulf et T. Dahll pour la carte géologique de Norwége.

Le *granite ancien* est généralement formé d'une agglo-

(*) *Carte géologique de la Norwége méridionale.*

mération cristalline et grenue; mais parfois il affecte un aspect feuilleté, résultant d'une simple orientation des cristaux et d'une disposition spéciale des éléments dans la masse. Or, en Norwége, ce dernier genre de structure est le plus répandu. D'où l'erreur des anciens géologues norwégiens, qui, s'attachant uniquement à cette texture feuilletée et la prenant pour une stratification véritable, avaient cru à un gneiss, cherché à déterminer ses directions, etc. Même confusion au sujet d'autres éruptives, telles que le gabbro, la labradorite, et la syénite ancienne, qui deviennent parfois schistoïdes.

C'est ainsi qu'en lisant les travaux de géologues tels que L. Buch, Keilhau, etc., on s'aperçoit souvent que, dans telle description de roche, où le mot de *granite* n'est pas prononcé, il sagit cependant du granite ancien, qu'on reconnaît parfaitement à ses éléments constituants. La composition minéralogique, telle est, en effet, la seule caractéristique, le seul critérium du granite ancien. Règle seule pratique et seule sûre, adoptée par M. Kjerulf dans la constitution de sa carte.

Pendant un certain temps, on a employé le mot de *gneiss-granite* pour désigner à la fois les caractères feuilleté et éruptif de la roche en question (*). Mais M. Kjerulf a proscrit cette expression comme entretenant la confusion, et adopté celle de *granite quasi-feuilleté* (stribet granit). Le nom de gneiss est ainsi réservé à la roche fondamentale.

La *roche fondamentale* (grundfjeldet) ou le *gneiss* est « la formation divisée en couches réelles ou paraissant telles, sur laquelle reposent toutes les autres formations connues ». Le granite ancien ne traverse qu'elle seule; il est antétaconique (**). La roche fondamentale se divise en deux étages principaux, les schistes cristallins et, à la base, le gneiss gris.

(*) De même qu'on dit *porphyr-granit*.
(**) Voir l'appendice, page 483.

La plupart des auteurs ayant écrit sur les *schistes cristallins* de la Norwége, s'étaient refusés à leur accorder une stratification véritable. On parlait seulement « de leur structure parallèle, de leur foliation sur une grande échelle, de leur orientation en bancs », comme si cette structure, cette foliation, cette orientation étaient indépendantes de leur origine, et comme s'il s'agissait d'une disposition des éléments postérieure à la formation de la masse. Cependant les recherches récentes de MM. Kjerulf et Dahll ont montré que c'étaient là de vraies strates dans toute l'acception du mot. Aux anciennes dénominations de *gneiss amphibolique*, *micacé*, *quartzeux*, doivent être substituées celles de *schistes amphiboliques*, *micacés*, *quartzeux*.

La roche fondamentale occupe, au sud de la Norwége, trois régions principales, savoir : le long de la côte sud-est, une bande comprenant Arendal, Kragerö, etc., avec les gîtes de fer et d'apatite ; à l'est de Christiania, une grande contrée au centre de laquelle se trouve Kongsvinger ; enfin à l'ouest de Christiania, un vaste espace embrassant tout le Thelemark, la vallée de Numedal et le district argentifère de Kongsberg, la vallée de Hallingdal et le district nickelifère et cobaltifère de Modum, les bords du lac Spirillen, du lac Randsfjord, etc. La première et la troisième sont séparées par le granite ancien ; entre la seconde et les deux autres se trouvent les lambeaux de terrain silurien, le granite et la syénite postérieurs, les porphyres du fjord de Christiania.

Ce sont les environs de Kragerö qui donnent les indications les plus nettes relativement à la nature stratifiée des schistes cristallins. Là, ils se divisent en étages puissants et continus, dont la netteté égale celle des formations sédimentaires ordinaires, comme le montre le profil donné par la *fig.* 1 de la Pl. X, d'après M. Forbes (*).

(*) Les schistes amphiboliques de ce profil renferment une zone chloriteuse.

A Kongsvinger, les strates ont été relevées par une éruption de granite; aussi la stratification y est-elle moins évidente. La *fig.* 2 de la Pl. X donne le profil perpendiculaire à la direction des couches, d'après M. Kjerulf (*).

Dans les environs de Kongsberg et de Modum, qui nous intéressent spécialement, les couches ont été relevées et fortement comprimées : dans cette position presque verticale et avec cette absence de régularité, leur nature n'apparaît pas clairement, et le doute serait permis si l'on n'avait pas à Kragerö une démonstration décisive de la stratification des mêmes schistes cristallins.

Ainsi donc, « la roche fondamentale, dit M. Kjerulf (**), gît en grande partie en strates; l'opinion qu'elle est en bancs, en zones parallèles ou de quelque nom qu'on désigne la foliation de la masse, et que cette disposition des éléments résulte simplement d'actions magnétiques, galvaniques, chimiques, est erronée, et dénote une connaissance insuffisante des faits. — Nous ne doutons plus qu'au sujet du gneiss gris. »

Le *gneiss gris* apparaît au sud de la Norwége, à Kongsvinger, à Kongsberg, dans le Hallingdal, le Numedal, etc. Mais ce n'est pas là qu'il prend le plus grand développement. Sur la côte occidentale du pays, au sud-ouest de Throndjem, s'étend un vaste champ de roche fondamentale, formé presque exclusivement de gneiss gris. Celui-ci occupe toute la hauteur des immenses coupes géologiques qui s'offrent aux regards de part et d'autre de la célèbre vallée du Romsdal. Il se montre depuis Lessö au bas du Romsdal jusqu'à Lom dans le Gudbrandsdal, du sommet des montagnes au niveau de la mer à Geiranger, Hel-

(*) Dans ce profil, le gneiss gris, marqué *gn*, est orbiculaire; les parties marquées *g* désignent des dykes puissants de granite feuilleté à protogyne; les parties marquées *q*, des filons de quartz blanc.

(**) *Universitetsprogram for förste halvaar* 1870.

lesylt, etc. Il enclave parfois des schistes micacés, amphiboliques, mais toujours en sous-ordre.

D'après M. Kjerulf, le gneiss du Romsdal correspond au gneiss gris de Kongsvinger, de Kongsberg, etc. Il est gris, et généralement clair. La cristallinité y est développée au plus haut point. Une disposition spéciale des minéraux lui donne un aspect flamboyant et orbiculaire : d'où le nom de *gneiss orbiculaire* (Romsdals öie gneiss), qu'il reçoit généralement. C'est la plus ancienne formation connue en Norwége et dans le monde entier.

« Le gneiss du Romsdal, dit M. Kjerulf (*), frappe vivement par son incroyable uniformité, et semble être la première écorce du globe. Son mode de formation n'apparaît pas clairement. On ne commence à se rendre compte du mode de formation de la roche fondamentale qu'à partir de l'étage supérieur, offrant de véritables strates avec alternances, et comparables aux terrains sédimentaires. On peut imaginer que sur la première écorce déjà formée, il s'est fait avec le concours de l'eau un dépôt puissant et hétérogène. Beaucoup de raisons, entre autres l'énorme développement de silicates, portent à croire que ce dépôt s'est fait à chaud. Mais approfondir davantage serait entrer dans le champ des hypothèses. »

En résumé, l'étude de la roche fondamentale en Norwége conduit à distinguer deux étages principaux : à la base, le *gneiss gris*, orienté, sinon stratifié, éminemment cristallin, voisin du granite, la plus ancienne formation connue et peut-être la première croûte de solidification du globe ; et sur le gneiss gris, *les schistes cristallins*, ayant une origine sédimentaire, mais métamorphiques et cristallins, souvent remaniés par des accidents géologiques qui ont détruit la continuité et la position respective des couches.

Ces deux grands étages ayant été déterminés, peut-on

(*) *Universitetsprogram for förste halvaar* 1870.

les subdiviser eux-mêmes ? Une telle classification est rendue difficile, pour ne pas dire impossible, par la structure cristalline qui rend moins nettes les diverses variétés de roches. Dans les formations paléozoïques et mésozoïques, le classement des terrains est facilité non-seulement par la présence des fossiles, mais encore par la division en calcaire, grès et schistes argileux. Mais dans la roche fondamentale, on a le marbre et la dolomie; les schistes quartzeux et micacés, et les micaschistes; les schistes amphiboliques, chloriteux et talqueux; enfin toutes les variétés de gneiss gris. On peut établir les subdivisions dans une région restreinte, comme l'ont fait M. Forbes aux environs de Kragerö, et MM. Kjerulf et Dahll dans le district minier d'Arendal (*). Mais on ne saurait poursuivre dans le pays tout entier. D'après Scherer, « le gneiss est un tout qui se tient, et quiconque veut prouver le contraire s'égare dans un labyrinthe ». — « Le labyrinthe, dit M. Kjerulf, est la structure minéralogique. »

Sur la carte géologique de la Norwége méridionale, la roche fondamentale est représentée dans son ensemble par une seule couleur. Mais on l'a soigneusement distinguée du granite ancien, ce qui n'avait pas encore été fait. M. Kjerulf avertit lui-même que quelques erreurs ont pu se glisser dans un travail embrassant des régions si vastes et si montagneuses. Tel lambeau stratifié, englobé dans un champ de granite, ne sera pas reporté sur la carte. Il n'est pas toujours possible de distinguer, d'après un échantillon, le granite quasi-feuilleté de certaines variétés de gneiss. Dans la nature, au simple aspect des montagnes, on n'est guidé que par les alternances et les colorations diverses des schistes, et par l'uniformité des grandes masses de granite.

(*) *Mémoire sur les gîtes de fer de la côte sud-est de la Norwége*, par MM. Kjerulf et Dahll. Traduit du norvégien par M. Fuchs. — *Annales des mines*, 6e série, tome IX, page 269.

II. KONSBERG ET LE CHAMP FONDAMENTAL A L'OUEST DE CHRISTIANIA.

La roche fondamentale occupe, comme il a été dit, un vaste espace à l'ouest de Christiania; elle est limitée au sud et à l'ouest par le granite ancien, au nord-ouest par les terrains taconiques supérieurs (schistes argileux à Dictyonema, et calcaire à Olenus), au nord par le terrain sparagmitique ou taconique inférieur, au nord-est, à l'est et au sud-est, par le silurien du lac Mjösen et des environs de Christiania, ainsi que par les syénites et les granites postérieurs de Christiania (*).

Le granite ancien, qui limite le Thelemark au sud et à l'ouest, occupe un immense espace éruptif dans la Norwége méridionale et s'étend jusqu'à Lindesnœs, à la pointe sud de la presqu'île. De plus, il traverse la roche fondamentale en plusieurs points de la région indiquée, et y forme des îlots. On compte quatre de ces îlots, dont trois au nord, savoir un vers le haut de la vallée de Numedal, un vers le haut de la vallée de Hallingdal, un entre celle-ci et le bas de la vallée de Valders, et un quatrième au sud, déjà signalé, qui sépare le Thelemark du district minier de Kongsberg.

Ce dernier champ intérieur de granite ancien est allongé du nord au sud. Lors de son soulèvement, le gneiss de Kongsberg a été relevé, plissé, brisé et comprimé. Au contact du granite et du gneiss, s'est injecté ultérieurement le gabbro, qui forme à la surface les deux champs éruptifs nord-sud, dont il a déjà été question (*fig.* 1 et 2, Pl. VIII).

Dans le district de Kongsberg, la roche fondamentale a une direction sensiblement nord-sud et un plongement presque vertical. Il y a eu *plissement* et *juxtaposition* des plis (*fig.* 4, Pl. X), de sorte que les schistes cristallins et le gneiss gris semblent alterner; *renversement*, de sorte que

(*) Voir l'appendice, page 483.

l'étage inférieur repose parfois sur l'étage supérieur; *compression*, *étirage* et *arrachement*, de sorte que les strates offrent des étranglements successifs, que telle couche se termine en coin et se trouve enclavée dans telle autre (*).

Telle est l'allure-type. Elle ressort clairement de la carte de la mine du Roi, dressée en 1866 par M. Holmsen, et reproduite par la *fig.* 1 de la Pl. IX. C'est une coupe sensiblement est-ouest et presque verticale.

Il y a des exceptions, près du Dronningkoll, le plongement est de 15° seulement en divers sens, et le gneiss contourne le dôme éruptif. Sur la route de Kongsberg, on a des inclinaisons variables. Enfin le bouleversement est parfois complet et l'on n'observe plus aucune loi.

Le gneiss gris domine aux environs de Kongsberg. Quant aux schistes cristallins, leur schistosité est souvent méconnaissable, à cause de la structure extrêmement cristalline, et leur stratification n'apparaît pas clairement à cause de la position presque verticale et surtout de l'irrégularité due à la compression de couches inégalement plastiques.

« Pour avoir une idée nette de la roche fondamentale, dit M. Kjerulf, il ne faut pas venir à Kongsberg, si l'on compte borner là ses recherches. » Heureusement il est facile de prouver que le district argentifère se relie à d'autres plus caractéristiques, et que l'on a devant soi à Kongsberg la même formation que dans le Thelemark, qu'à Modum, Snarum, Skutterud, qu'au lac Randsfjord et dans la vallée de Hallingdal (**).

Quand de Kongsberg on se rend à la vallée de Hitterdal, au fond du fjord de Laugesund, on se dirige vers le sud-ouest, et prenant le chemin du Mehei, on arrive bientôt au petit lac de Bue, d'où sort le Kobberbergs et où se jette le Mehei-Elv (*fig.* 1, Pl. VIII); là, dans la vallée, le gneiss de

(*) Par exemple, près de Limbo, sur le chemin du Dronningkoll.
(**) *Carte géologique de la Norwége méridionale.*

Kongsberg se relie presque à celui d'Hitterdal et par suite du Thelemark.

Au nord-est de Kongsberg, il y a jonction par les hauteurs du Holtefjeld, avec les schistes caractéristiques et très-nettement stratifiés du district cobaltifère de Skutterud et de Modum; là, comme à Kongsberg, les schistes ont été fortement relevés et comprimés. Plus loin, entre Skutterud et Soneren, on voit surtout des schistes amphiboliques et quartzeux, qui alternent et ont des plongements raides en divers sens; là encore les strates sont très-nettes. En continuant vers le nord-est, on arrive au lac Randsfjord; de ce côté, les couches plongent faiblement et sont beaucoup plus voisines de la position originelle; sur les bords du Randsfjord, il y a bombement des strates. Si ensuite du Randsfjord on va vers l'ouest au lac Spirillen dans la vallée de Valders, on trouve que les angles avec l'horizontale sont successivement de 30°, 20°, 15°, 25°; que le plongement a lieu constamment vers l'est; que la direction varie un peu, mais est toujours parallèle aux confins du champ intérieur de granite ancien, à l'ouest du Spirillen. De même, si de Modum on remonte la vallée de Hallingdal, où se trouve le lac Kröderen, on voit la direction des schistes osciller autour du même îlot de granite qui est alors à droite.

III. PUISSANCE DE LA ROCHE FONDAMENTALE.

On ne peut guère déterminer la puissance d'une formation que là où les couches sont voisines de la position horizontale. Quand le plongement est considérable, et dès qu'il dépasse 45°, on ne sait si les couches qui affleurent à côté les unes des autres sont autant de nouveaux bancs, ou une seule série limitée qui, par suite de recouvrement ou de plissement, vient à se répéter. Dans les formations sédi-

mentaires ordinaires, on est guidé par les fossiles : ce fil conducteur manque dans la roche fondamentale.

Deux dispositions fréquentes de la roche fondamentale sont les suivantes. Une série de terrasses, avec des couches à 40° et plus; comme dans le Thelemark, à Cristiansand, dans le Numedal (*fig.* 3, Pl. X): c'est souvent une seule et même épaisseur de couches qui s'est brisée, et par suite d'un ressaut, s'est recouverte elle-même. Des couches verticales ou à peu près, comme à Kongsberg, Modum, Kongsvinger (*fig.* 4, Pl. X); généralement elles n'ont pas été seulement relevées, mais encore plissées et comprimées. Dans ces deux cas, les mêmes couches se répètent et leur somme ne donne pas la puissance de la formation. Au contraire, il n'y aura lieu à aucune incertitude, quand les couches seront presque horizontales, et qu'on aura la coupe géologique de la formation sur le flanc d'une vallée.

Dans certains ouvrages, on parle pour la roche fondamentale d'une puissance de 4.800 à 12.000 mètres. Le fait est que de telles puissances n'ont jamais été constatées dans les coupes géologiques naturelles, où les couches sont voisines de leur position originelle. C'est en Norwége que la roche fondamentale se montre avec la plus grande épaisseur, et en Norwége c'est dans la vallée du Romsdal qu'on trouve la puissance la plus élevée : elle ne dépasse pas 960 mètres.

— Des considérations précédentes résulte l'impossibilité de déterminer à Kongsberg même la puissance de la roche fondamentale. Mais il n'en est pas de même dans toute la région occupée par elle à l'ouest de Christiania. Ce qui suit est extrait du dernier ouvrage déjà cité de M. Kjerulf sur la roche fondamentale (*).

« Au nord de Kongsberg à Flesberg (*fig.* 1, Pl. VIII), le

(*) *Universitetsprogram for förste halvaar* 1870.

granite ancien traverse de part en part la roche fondamentale, et apparaît sur chaque flanc de la vallée de Numedal (*) ; en amont de Flesberg, le gneiss n'est plus traversé, mais seulement bombé, et sur les flancs opposés de la vallée, les couches se correspondent avec des plongements inverses vers l'est et vers l'ouest. Là et en plusieurs points de la vallée de Numedal, le plongement est faible et atteint seulement 9°, 12°, 29°; cette position est assez voisine de l'horizontale pour qu'on puisse prendre la hauteur du relief pour la puissance de la formation. (Voir la *fig.* 5, Pl. X.) « La cime de Synhovd est à 1.101 mètres au-dessus du niveau de la mer, l'église de Rollaug (située au bord du Laugen) à 221 mètres; la puissance apparente du gneiss en ce point est donc de 880 mètres. Deux étages doivent y être distingués. La partie supérieure est formée de schistes amphiboliques et quartzeux (**) ; elle compte 450 mètres. La partie inférieure a une égale puissance et se compose de gneiss gris ; elle se trouve au fond de la vallée (T. Dahll).

« Dans la vallée de Hallingdal, on peut aussi déterminer la puissance, mais d'une autre façon. A la pointe nord du lac Kröderen (***), se trouve le mont Hestgjuvnatt. Quand on monte de Buö vers le Hestgjuvnatt, on traverse normalement à leur direction la série des couches. (Voir la *fig.* 6, Pl. X.) « Vers le bas, on trouve beaucoup de granite. La cime du Hestgjuvnatt est à 1.018 mètres au-dessus du niveau de la mer, les eaux du Kröderen à 130 mètres; la différence est de 888 mètres. Le plongement est en moyenne de 45°. Soient $880^{m} \times 0,07$ ($= \cos 45°$) ou 616 mètres de

(*) La vallée de Numedal n'est autre que la vallée de Laugen, en amont de Kongsberg.

(**) Les schistes amphiboliques renferment des parties en gabbro; les schistes quartzeux sont traversés par une foule de dykes de granite à gros grains.

(***) *Carte géologique de la Norwége méridionale.*

puissance. Ici encore deux étages : l'un supérieur en quartzites et schistes amphiboliques, qu'on voit au Hestgjuvnatt ; l'autre inférieur en gneiss gris, à Gulvik et plus haut dans le Hallingdal.

Plus loin, vers le nord, à Nœs, le Hallingdals-Elv reçoit un affluent, le Rukedals-Elv. Si l'on remonte la vallée de Rukedal, on voit une série de couches d'une très-grande puissance; puis on s'aperçoit que cette énorme épaisseur est repliée. (Voir la *fig.* 7, Pl. X.) Après avoir successivement noté des plongements de 60°, 42°, 30°, 60°, tous vers l'amont, on retrouve la même série de couches, mais plongeant vers l'aval. Entre les deux points extrêmes du premier bras de ce repli, la distance en ligne droite est de 3.375 mètres. Le plongement moyen des couches est d'environ 45°. La puissance de la formation est donc de $3.375^{m} \times 0{,}7$ (sin 45°) $= 2.362^{m},5$. Ici encore on est amené à distinguer deux étages, l'un supérieur d'environ 1.170 mètres formé de quartzites, de schistes quartzeux, et de schistes amphiboliques interstatifiés, l'autre inférieur composé de schistes amphiboliques et de gneiss gris, ayant $1.192^{m},5$, mais traversé par beaucoup de dykes de granite, qui devraient être déduits de l'épaisseur trouvée (*).

« Si l'on aborde des coupes géologiques plus incertaines, on arrive à des puissances beaucoup plus grandes. Sur le chemin de Kongsberg à Tinoset par le lac Bolkesjö (dans la vallée de Jondal), on traverse une série de couches puissantes normalement à leur direction. Le profil annexé à la carte géologique de Kongsberg (*fig.* 2, Pl. VIII) en donne un aperçu. De Bolkesjö si, quittant le chemin, on monte au Sigridfjeld, on rencontre des quartzites et des schistes quartzeux; le plongement est de 17° et la puissance de 600 mètres. Ensuite, sur le chemin de Vik à

(*) Dans la *fig.* 7., Pl. X, l'étage inférieur n'est pas représenté tout entier.

Rödningen, on traverse du gneiss, des schistes argileux durs, et des schistes micacés et calcaires; le plongement est de 20°, la puissance de 1.175 mètres. De Rödningen à Kopsland, il y a des schistes quartzo-amphiboliques et micacés ; le plongement est de 30° et la puissance de 1.725 mètres. De Kopsland à Gransherred, ce sont des schistes micacés et des quartzites; le plongement est de 40° et la puissance de 964 mètres. Mais si l'on considère la coupe géologique du Sigridfjeld, on voit qu'il serait faux d'ajouter toutes ces épaisseurs, et d'en faire une formation continue de 4.500 mètres de puissance. De telles épaisseurs ne se présentent que quand il y a eu recouvrement. »

IV. DESCRIPTION PÉTROGRAPHIQUE.

Gneiss gris. — Le gneiss gris de Kongsberg se compose de quartz en forte proportion, de mica généralement foncé, et de feldspath toujours blanc, hémiédrique, difficile à déterminer. Il contient parfois du grenat. Il a une couleur nettement grise. Le quartz et le feldspath sont de grosseur variable. Les éléments de la roche sont orientés, et elle affecte même un commencement de schistosité. Elle est moyennement dure et sert dans le pays de pierre à bâtir (d'où son nom de *Stenbrud*).

Schistes quartzeux. — Roche à grains fins, composée presque exclusivement de quartz, avec un peu de mica, lequel manque souvent; contient fréquemment du grenat, qui peut arriver à prédominer, et lui est en général si intimement mêlé, qu'on ne le distingue pas à l'œil nu. Compacte et très-dure ; stratifiée en bancs puissants. Couleur générale d'un gris sale.

Un bon type de schistes quartzeux se voit entre le pont du Kobberbergs (vis-à-vis de l'usine à vitriol), la mine de Helgevand et le Jonsknud (*fig.* 1, Pl. I).

Schistes micacés. — Cette roche tantôt se compose de

mica seulement, avec beaucoup de grenat, et est alors très-tendre, — par exemple, dans la partie nord de la mine du Secours de Dieu—; tantôt est très-quartzeuse et moyennement dure, — par exemple sur une certaine longueur du chemin qui conduit à la mine du Secours, un peu après la Couronne. — Les schistes micacés passent souvent aux schistes chloriteux, et réciproquement. Souvent le grenat devient tellement abondant dans les variétés tendres, que la roche se trouve principalement formée de ce minéral : il est à l'état de grains cristallins et de nodules plus ou moins gros, qu'enveloppent les feuilles de mica.

Au sud du district, à la mine de pyrite, les schistes micacés renferment de la staurotide et de la gahnite.

Schistes amphiboliques. — Tantôt cette roche ne se compose que de hornblende presque pure, tantôt il s'y ajoute plus ou moins de quartz. Sa couleur est vert foncé. Elle est très-schisteuse, et se laisse facilement découper en lamelles. Parfois on aperçoit çà et là dans la masse des écailles brunes de mica; quand celles-ci viennent nombreuses, la roche passe au micaschiste. Le plus souvent, les schistes amphiboliques contiennent du grenat qui peut atteindre une grosseur notable, mais est en général intimement mêlé aux autres éléments de la roche.

On voit des schistes amphiboliques très-purs et très-caractéristiques, en bandes allongées et étroites, au milieu du gneiss gris, sur l'Overberg et sur les pentes de l'Holtefjeld.

Au milieu de la roche verte se présentent quelquefois des cristaux de feldspath blanc avec ligne d'hémiédrie rendant la schistosité moins nette : on a alors ce qu'autrefois on appelait « le *gneiss amphibolique* ». La texture peut même devenir grenue : alors c'est « le *granite amphibolique* » de Keilhau.

Granite ancien ou quasi-feuilleté. — L'orthose rouge est prédominant. C'est le seul feldspath qu'on y ait trouvé

jusqu'ici. La structure feuilletée tient à l'orientation des feuilles de mica. Les caractères des schistes manquent tout à fait. L'orthose est souvent maclé. Le mica peut ne se trouver qu'en très-faible quantité, ainsi sur le Vibetofjeld.

Le type le plus répandu à Kongsberg est une roche de couleur rouge, contenant essentiellement de l'orthose, du quartz vitreux et du mica foncé en petits feuillets disposés suivant des zones contournées. Tel est, par exemple, le granite de la vallée de Jondal. Entre Ravaljö et le lac Holmevand, on voit une variété qui contient de la hornblende. La magnétite a été citée comme élément éventuel.

Mais, en somme, on ne trouve pas à Kongsberg le vrai granite quasi-feuilleté, typique et caractéristique, comme dans le Thelemark, aux lacs Fyrrisvand et Nisservand, au centre du grand champ éruptif du sud-ouest, ou encore comme dans le Hedal, ou à Frederikstad.

Le granite ancien contient parfois des débris de schistes environnants, par exemple au lac Holmevand, où il en renferme des milliers de petits morceaux, et à l'ouest de Garras-Sœter, où il en emprisonne de très-grands lambeaux.

A la surface, il est arrondi, poli, et peu accidenté. On en trouve de gros blocs sur le flanc des collines.

§. 1. — LE GABBRO, LA SYÉNITE, LE PORPHYRE NOIR.

I. LE GABBRO.

Examen à l'œil nu. — Le gabbro-type a une structure granitique. On distingue à première vue dans la roche trois éléments principaux : le labrador, la hornblende, et un troisième qu'on prend indifféremment à l'œil nu pour du diallage ou de l'hyperstène. Le labrador est le plus souvent brun violacé et d'autres fois blanc, violet clair, vert

clair, vert foncé, brun clair, brun foncé. La hornblende est vert foncé. Le troisième élément est généralement vert foncé, mais présente aussi des variétés claires; il possède souvent le chatoiement du diallage. On voit, en outre, dans le gabbro, des écailles brunes de mica et des cristaux de fer titané, mais en sous-ordre. Enfin, on y trouve fréquemment des pyrites. La couleur générale de la roche est verdâtre, les nuances variant avec la proportion et la couleur des éléments constituants.

Quand le labrador devient prédominant, le gabbro passe à la *labradorite* ou à la *norite* d'Esmark senior.

Examen au microscope au moyen de plaques minces (*).— Le gabbro-type, à structure granitique, est composé principalement de feldspath triclinique strié,— de diallage brun clair (parfois transformé en serpentine), — d'amphibole (actinote vert bleuâtre et hornblende verte), — de biotite jaune, brune et verte. (Ces trois derniers éléments renfermant des dessins hébraïques de fer titané.) — Il contient en outre du fer titané, souvent bordé de sphène; —du sphène, avec arborisations fréquentes de fer titané; — du quartz (moulé); — de l'apatite (en inclusions).

Il a une ressemblance frappante avec certaines euphotides tertiaires du mont Genèvre.

Le gabbro peut être à très-gros grains. Au Dronningkoll, on trouve un gabbro avec des cristaux de diallage et de hornblende atteignant 2 centimètres et des cristaux de feldspath ayant jusqu'à 5 centimètres de longueur. De telles dimensions sont rares. Les éléments peuvent, au contraire, décroître jusqu'à devenir imperceptibles à l'œil.

A la surface, le gabbro à gros grains est caractéristique. Le labrador se délitant à l'air et de petites cavités se for-

(*) Les échantillons de gabbro rapportés par moi ont été examinés au microscope par MM. Fouqué et Michel Lévy.

mant à sa place, la roche a une surface rugueuse et brunâtre. La masse est dure et compacte et offre rarement au marteau des angles saillants. Le calcaire du labrador étant favorable à la végétation, le gabbro est toujours recouvert de belles forêts de pins et bouleaux.

Parfois le gabbro s'élève à l'état de dôme soit isolé, comme au Dronningkoll, soit entouré d'un manteau gneisique, comme au Jonsknud. Mais le plus souvent il ne crée pas un relief qui attire l'attention.

A Kongsberg, le gabbro s'est injecté au contact du granite ancien et de la roche fondamentale, comme on le voit sur la carte géologique du district (*fig.* 1, Pl. VIII) et sur la coupe le long du Jondal (*fig.* 2, Pl. VIII). Il forme à la surface les deux champs principaux déjà signalés : au sud, celui de l'Overberg, coupé par la vallée du Jondals, et au nord, celui de Vinoren, que traverse le Laugen. Il apparaît en outre à la cime du Jonsknud, au lac Helgevand, sur la colline Haus Gabel Aas, sur la rive orientale du Laugen à Skara, auprès du lac Kjernrudvand, et en plusieurs points de la route de Kongsberg. Mais la *fig.* 1, Pl. VIII, est loin d'indiquer tous les emplacements occupés par le gabbro et leurs limites rigoureuses.

Le gabbro-type ne se rencontre qu'à l'intérieur de ses champs éruptifs. Près des confins, il est móins caractéristique ; il peut devenir très-quartzeux et acquérir une structure feuilletée parallèlement aux lignes de froissement et par suite à la direction des terrains soulevés. D'autre part, ceux-ci sont très-métamorphiques et souvent leur schistosité a presque disparu. Dans de telles conditions il sera difficile de voir quand on passe, par exemple, du gabbro aux schistes amphiboliques, ou réciproquement.

Dans les masses de gabbro éruptif sont souvent enclavés des lambeaux plus ou moins grands de schistes brisés, ainsi à Sud-Vindren.

Non loin du district de Kongsberg, le gabbro apparaît

encore à Skutterud, à Snarum, à Modum, à Haugsund. Il est fréquent à la surface de la Norwége méridionale. Des champs bien autrement vastes qu'à Kongsberg se font remarquer dans la vallée de Torrisdal. On en trouve dans l'île de Karmö, à Bamble, à Sannikedal, à Söndelöv, etc.

On ne peut déterminer directement l'âge du gabbro de Kongsberg, car il n'a trouvé à traverser que la roche fondamentale. Il n'apparaît pas d'ailleurs dans les formations plus récentes qui se trouvent au sud-est du district argentifère. Cependant, en d'autres points de la Norwége le gabbro se montre au milieu du terrain silurien ; par exemple, sur la rive orientale du lac Randsfjord, sur la rive occidentale du lac Mjösen, etc. Il traverse alors invariablement l'étage 5 sans traverser l'étage 6 (*). Tous les gabbros de Norwége ont sensiblement les mêmes caractères pétrographiques et appartiennent sans doute à la même époque géologique.

II. La syénite.

Les roches de Kongsberg sont traversées çà et là par des dykes puissants de syénite. Cette syénite ne se montre pas sur l'Overberg, mais elle est fréquente à Vinoren. Là, ses dykes recoupent nettement le gabbro. Un de ces dykes apparaît dans l'Hoved Grube, à Sud Vinoren.

La roche est à grains fins ; sa couleur générale est grise. Elle renferme beaucoup de feldspath triclinique, du quartz à l'état granulitique, du mica noir abondant, de l'amphibole verte et du grenat.

Cette syénite doit sans doute être classée parmi les syénites postérieures de Norwége (postdévoniennes) (**).

(*) Voir l'appendice, p. 483.
(**) Voir l'appendice, p. 483.

III. Le porphyre noir.

Comme dernière roche éruptive apparaît à Kongsberg un *porphyre noir*, que dans le pays on appelle improprement *grunstein*. Des dykes de ce porphyre sont connus dans tout le district, aux mines du Roi, des Pauvres, du Secours-de-Dieu-dans-le-Besoin, à Vinoren, à la mine de Pyrite, dans les galeries Frédéric, Christian, etc. Ces dykes ont de quelques centimètres à 1 mètre de puissance. Ils sont assez irréguliers en direction comme en inclinaison.

La *fig.* 1, Pl. IX, donne la coupe géologique de la mine du Roi, transversalement au terrain et parallèment aux filons argentifères. Un dyke de porphyre noir est figuré dans la région ouest de la mine. Il est représenté d'après ses points de croisements avec les galeries de direction le long du filon principal. Il a été également rencontré par des galeries de direction suivant d'autres filons, ainsi que par plusieurs galeries en travers (*). Il est voisin du plan de stratification, a une direction sensiblement nord-sud et coupe les schistes en inclinaison sous un angle très-aigu. A l'œil nu, le porphyre de ce dyke est simplement formé d'une pâte noir verdâtre; on l'appelle à Konsberg *grunstein aphanite.*

D'autres dykes offrent un porphyre à pâte noirâtre englobant des cristaux blancs d'orthose, lesquels peuvent atteindre $0^m,03$ et $0^m,04$; on l'appelle *grunstein porphyroïde.* Un dyke de ce porphyre a été recoupé par la galerie Christian, et un autre est apparu en 1875 au fond du puits principal de la mine des Pauvres, à la profondeur de 564 mètres.

On ne connaît pas de dyke de porphyre dans les mines actuellement exploitées à Sud-Vinoren; mais à Nord-Vino-

(*) Ce dyke de porphyre noir apparaît sur les plans de la mine du Roi, donnés par les *fig.* 12 et 13, Pl. X, et 2, Pl. XI.

ren, où la roche, dénuée de terre végétale, se montre nue et polie à la surface, on voit des dykes de porphyre noir sillonnant le gabbro. En certains points se rencontrent à la fois des dykes de syénite et de porphyre, et toujours le porphyre traverse la syénite.

L'examen au microscope de la roche taillée en plaques minces montre de suite qu'il n'y a pas lieu de distinguer les variétés dites aphanite et porphyroïde, et qu'elles ont l'une et l'autre les mêmes éléments constituants, la seule différence étant que, dans la seconde, les cristaux d'orthose sont visibles à l'œil nu.

Voici les résultats de l'étude microscopique de plusieurs échantillons provenant des mines du Roi et des Pauvres (*).

Cristaux en débris. — Grands cristaux d'orthose, aux bords arrondis (pouvant atteindre $0^m,01$ et davantage) et cristaux moins grands de feldspaths tricliniques striés, fendillés et pénétrés de calcite et de chlorite. — Minéral vert clair parsemé de petits microlithes arrondis, jaunâtres et transparents, disposés en séries rectilignes, parallèles et très-rapprochés; s'éteint parallèlement aux lignes des inclusions; faiblement dichroïque. Conclusion : Serpentine diallagique. Affecte des formes polyédriques aux angles arrondis. Traversé par de la calcite. Contient des cristaux de pyrite magnétique, parfois altérée. — Certaines plages sont occupées par une matière jaune sans action sur la lumière polarisée, traversée par de petits microlithes noirs, abondants surtout près du bord. Le contour cristallin, mal délimité, rapproche cette substance de l'amphibole, dont elle serait une altération.

Pâte. — Belle fluidalité par microlithes. —Matière amorphe très-abondante, incolore et légèrement trouble par infiltration. — Microlithes feldspathiques allongés s'étei-

(*) Ces échantillons ont été examinés par MM. Fouqué et Michel Lévy.

gnant suivant leur longueur. — Très-petits grumeaux d'une substance verte fortement dichroïque, qui est sans doute de l'amphibole. — Nombreux granules de calcite inégaux, à contours mal délimités. — Nombreux granules noirs, opaques, ternes à la lumière réfléchie, à contours cubiques, qui sont sans doute en fer oxydulé. — Opale calcédonienne en petites veinules rares. — Granules de fer titané avec auréole grise d'altération.

Éléments secondaires. — La calcite, la chlorite et l'opale, pénétrant les cristaux et la pâte, sont postérieurs à la consolidation de la roche. (Il faut remarquer que les échantillons examinés ont été pris dans le voisinage de filons calcaires.)

Conclusion. — Le porphyre noir de Kongsberg est analogue aux porphyres noirs de la série intermédiaire qui ont fait éruption pendant l'époque anthracifère dans le plateau central de la France, et notamment à celui de Montmartin (Puy-de-Dôme). Les porphyres noirs anthracifères du plateau central ont été étudiés et décrits par M. Michel Lévy (*).

II. — LES FAHLBANDES DE KONGSBERG.

---

§ 1. — DÉFINITION ET DESCRIPTION DES FAHLBANDES.

Tout dans les fahlbandes a été ou est discuté, jusqu'à l'orthographe de ce mot. *Fallband* en allemand, ou *Faldband* en norwégien, est sans doute le terme créé à l'origine.

(*) Michel Lévy : *Structure microscopique des roches acides anciennes.* — *Bulletin de la Société géologique de France,* 3e série, t. III, pages 207 et 230. — *Porphyres de Lugano.* — *Bull. Soc. géol.,* 3e série, t. IV, page 111.

Les filons argentifères de Kongsberg résultent, comme nous le verrons, d'un système de fractures ayant agi sur un vaste espace; les fentes innombrables, qui sont distribuées sur l'étendue du district minier, ont toutes ou presque toutes une direction sensiblement est-ouest et un plongement presque vertical; les cassures sont donc normales à la stratification, qui, on l'a vu, est nord-sud et presque verticale. Or, il se trouve que les filons ne sont pas argentifères dans toute l'étendue de leur plan, mais seulement suivant des colonnes à peu près verticales, dont la largeur varie de 1 à 40 mètres. De plus, les colonnes d'enrichissement des divers filons parallèles se correspondent, et peuvent se grouper de manière à former des zones riches, sensiblement parallèles entre elles, de direction nord-sud comme la stratification, et de même prolongement presque vertical. Ce sont ces zones riches que, d'après M. Kjerulf (*), les anciens ont appelé *fallbandes*, sans rattacher à cette expression aucune considération théorique, ni aucune liaison entre les parties riches du filon et la roche encaissante: *fald* ou *fall* voulant dire le cas heureux, la réussite (**), *band* voulant dire banc, couche, zone; *fallbande* signifiant par suite zone favorable ou argentifère; en un mot, *fallband* étant synonyme de *ertsband* (***).

Le mot *fahlbande*, adopté dans ce mémoire, à une signification tout autre.

Certaines parties des roches du district minier de Kongsberg contiennent des sulfures métalliques à l'état d'impré-

---

(*) *Rapport de la commission de* 1865.

(**) Comme dans cette phrase allemande : *Das ist der Fall.*

(***) Dès lors, le vieil adage du mineur de Kongsberg : « *Uden gang og Fald, intet Sölv.* — Sans filon et fallbande, pas d'argent », revient à dire : sans filon et partie argentifère du filon, pas d'argent; c'est un pléonasme.

C'est bien ainsi que l'entend M. Kjerulf, qui se refuse à admettre aucune solidarité entre les parties riches des filons et les parties imprégnées des roches encaissantes.

gnation fine et souvent imperceptible à l'œil, mais se traduisant toujours à l'air par une couleur de rouille plus ou moins intense. *Le gneiss gris n'est jamais imprégné à aucun degré. Peuvent être imprégnés*, le sont en général, mais d'une façon plus ou moins nette : *les schistes cristallins, amphiboliques, micacés, quartzeux*, dans la roche fondamentale; *le gabbro*, parmi les éruptives.

L'imprégnation se compose de pyrite de fer en quantité prédominante, de pyrite magnétique, de pyrite de cuivre, de gahnite, plus rarement de blende, de cuivre panaché et de mispickel (*). Tantôt la pyrite d'imprégnation mouchette la masse ; tantôt elle affecte la forme de noyaux irréguliers dans les schistes; elle se trouve souvent à l'état de minces feuillets dans les plans de clivage ou de schistosité.

On appelle *fahlbande* une zone d'imprégnation dans une roche quelconque. *Fahl* est une épithète « propre à toutes les substances qui, étant restées longtemps exposées à l'air, ont perdu, par suite d'altération, leur couleur primitive »; et la rouille à l'air est caractéristique de toute roche imprégnée de sulfure métallique.

On distingue les *fahlbandes dans les schistes*, et les *fahlbandes dans le gabbro*. Les premières seules ont de l'importance.

La zone appelée fahlbande n'est pas forcément imprégnée tout entière ; elle comprend des parties imprégnées et d'autres qui ne le sont pas, les premières formant un réseau quelconque au milieu des secondes. D'autre part, l'imprégnation ne suit pas les strates; il n'y a pas de couches imprégnées intercalées entre d'autres qui ne le sont pas; à la surface, les traînées rouilles ne désignent pas certains bancs de schistes. Au contraire, chaque catégorie de schiste est imprégnée d'une façon variable; en suivant

(*) D'après M. Stalsberg, on trouve parfois du mispickel dans le gneiss gris.

en direction ou en profondeur telle couche plus pyriteuse que telle autre, on trouve que la première devient relativement pauvre et la seconde riche.

Donc, l'imprégnation est sans loi, sauf qu'elle n'existe jamais dans le gneiss gris. Cette restriction est importante. Faute de la faire, M. Kjerulf arrive à dire que « le mot *fahlbande* ne signifie rien, qu'on ne peut le définir (*) ». Nous voyons, au contraire, que le gneiss gris encaisse à Kongsberg des bandes nord-sud de schistes cristallins ; que le gneiss gris n'est jamais imprégné ; que les schistes le sont généralement, bien que sans loi ; qu'enfin l'ensemble des parties imprégnées forme, comme les schistes, des zones allongées ; et ce sont ces zones bien définies qui sont les fahlbandes.

La carte de la mine du Roi, par M. Holmsen, *fig.* 1, Pl. IX, est, comme il a déjà été dit, une coupe est-ouest, c'est-à-dire parallèle aux filons et transversale à la grande fahlbande de l'Overberg. Elle est accompagnée de 6 séries d'échantillons, déposés à la collection de Kongsberg, témoins de 6 coupes horizontales, entre les niveaux de 230 mètres (galerie Frédéric) et de 262 mètres. — L'inspection de la carte met en lumière l'extrême irrégularité de l'allure des schistes. L'étude des échantillons méthodiquement classés démontre clairement l'absence de loi dans l'imprégnation.

A ce sujet, on peut cependant donner quelques indications générales. On peut dire que l'imprégnation est maxima dans les schistes micacés (très-schistoïdes), moyenne dans les schistes amphiboliques, minima dans les schistes quartzeux (très-compactes). Mais il y a des exceptions ; ainsi, à la mine du Roi, vers la profondeur de 500 mètres, et du côté est de la mine, on a traversé des schistes amphiboliques assez quartzeux et fortement im-

(*) *Rapport de la commission de* 1865.

prégnés de sulfures (pyrite de fer, peut-être pyrite magnétique, pyrite de cuivre).

Jamais l'imprégnation ne disparaît complétement dans les schistes, sauf quand les schistes amphiboliques passent à l'amphibolite pure, et encore y découvre-t-on un peu de pyrite, soit en cristaux, soit en feuillets.

Parfois, l'imprégnation devient très-considérable et forme de gros noyaux dans les schistes. On retombe alors dans le cas ordinaire des fahlbandes de Norwége, fahlbandes qui constituent la plupart des gîtes de métaux sulfurés dans ce pays, et qu'exploitent les mines de cuivre de Röraas, de Foldal, de Vigsnœs, les mines de colbalt de Modum, les mines de nickel de Skutterud (*), etc. Dans le district de Kongsberg, on remarque une concentration de pyrite massive dans les schistes à la mine dite Kiesgrube (**), située sur la grande fahlbande au sud du

(*) Ces mines, sauf celle plus récente de Vigsnœs, ont été successivement décrites dans les *Annales des mines*, en 1843, par M. Daubrée (4e série, t. IV); en 1849, par Durocher (4e série, t. XV); en 1854, par M. Duchanoy (*Gisement et traitement des minerais de cuivre en Norwége*, 5e série, t. V, p. 181).

Le gisement de Vigsnœs, situé au sud-est de la Norwége, à l'embouchure du golfe Bukkefjord, sur la grande île de Karmö (province de Stavanger), a été découvert en 1864 par un Français, M. Defrance, qui en dirige avec succès l'exploitation. C'est jusqu'ici la seule mine importante et prospère de la côte entre Egersund et Bergen. On en extrait annuellement 35 à 40.000 tonnes de pyrite de fer massive et cuivreuse, tenant 45 à 48 p. 100 de soufre et 2 à 4 p. 100 de cuivre. Le minerai est exporté en France et en Angleterre pour la fabrication de l'acide sulfurique, et les résidus du grillage sont traités en Belgique et en Angleterre pour l'extraction du cuivre, soit par voie humide, soit par fusion.

Les conditions du gîte de Vigsnœs sont indiquées dans le paragraphe suivant de ce chapitre. La profondeur des travaux était, en juin 1875, de 160 mètres. A 60 mètres, la teneur moyenne du minerai en cuivre avait été de 4 p. 100. Près de l'affleurement, elle était bien supérieure encore.

(**) Elle est exploitée pour pyrites servant au traitement métallurgique de l'usine de Kongsberg.

Kobberbergs. C'est de la pyrite de fer très-peu cuivreuse ; il est à remarquer qu'elle renferme seulement des traces d'argent ; elle tient un peu d'or, ainsi que du sélénium et du tellure.

En résumé, lors des soulèvements de granite ancien et de gabbro, la roche fondamentale de Kongsberg a été plissée et comprimée ; les schistes moins résistants ont été étirés et ont donné lieu à des *zones de froissement* encaissées dans le gneiss gris. Quand sont venues les émanations sulfurifères, elles ont trouvé dans ces zones de froissement un chenal, la matière y étant plus spongieuse et la substance plus propre au dépôt, tandis que le gneiss gris s'opposait à l'imprégnation par sa nature physique et chimique. D'où sont nées les *fahlbandes, zones de schistes froissés, imprégnées dans leur ensemble, mais sans loi.*

On voit que les *fahlbandes de Kongsberg* sont analogues aux *ruschels du Hartz.*

Sur la carte géologique du district argentifère (*fig.* 1, Pl. VIII), sont représentées les principales fahlbandes. Hors d'elles, on peut dire qu'il n'y a guère que du gneiss gris à la surface de la roche fondamentale. Les fahlbandes ont une direction sensiblement nord-sud, comme les schistes ; plus généralement, elles contournent les champs éruptifs : ainsi le Dronningkoll à Vinoren est entouré de zones concentriques de froissement et d'imprégnation.

Les principales *fahlbandes dans les schistes* aux environs de Kongsberg sont les suivantes (*fig.* 1, Pl. VIII) : 1° La *grande fahlbande du plateau de l'Underberg;* elle va depuis le Kobberbergs au sud jusqu'au Jondals au nord; sa largeur est d'environ 60 mètres. Sur cette fahlbande sont échelonnées beaucoup d'anciennes mines aujourd'hui abandonnées, entre autres la Segen Gottes G., ayant atteint, dit-on, 564 mètres de profondeur (*fig.* 3, Pl. VIII). — 2° La *grande fahlbande du plateau de l'Overberg ;* elle va aussi du Kobberbergs au Jondals, et sa longueur est de 8 kilom.

environ; sa largeur est de 300 à 360 mètres. Sur cette fahlbande, se trouvent également une foule d'anciennes mines, ainsi que les quatre mines encore exploitées aujourd'hui par l'État, savoir les mines des Pauvres (Armen Grube), du Roi (Kongens G.), du Secours-de-Dieu-dans-le Besoin (Gottes Hülfe in der Noth G.), et de la Maison de Saxe (Haus Sachsen G.). — 3° Plusieurs fahlbandes à l'ouest de la grande fahlbande de l'Overberg, entre autres celles de la Krag G., de la Kunter G., de la vallée de Barlindal. — 4° La fahlbande isolée du petit lac de Helgevand, à 8 kilom. à l'ouest de Kongsberg (sur la rive occidentale du lac). — 5° Les prolongements au sud du Kobberbergs de plusieurs des fahlbandes précédentes. C'est sur la grande fahlbande de l'Overberg prolongée que se trouve la mine de pyrite (Kies G.) déjà citée. — 6° Les prolongements des mêmes au nord du Jondals, et les fahlbandes de Vinoren, lesquelles ne sont plus rectilignes et parallèles, mais irrégulières et courbes. — 7° La fahlbande de la Skara G., de l'autre côté du Laugen, au nord-est de Kongsberg, dans la direction du Holtefjeld.

Le gabbro est souvent pyritifère. Tantôt ce sont des cristaux, souvent assez gros, qui parsèment la masse, tantôt c'est une imprégnation ne s'accusant que par la couleur rouille à l'air. L'allure des *fahlbandes dans le gabbro* est très-irrégulière.

Enfin, les débris de roche fondamentale, enclavés dans le gabbro éruptif, peuvent être imprégnés et former alors une troisième catégorie de fahlbandes.

§ 2. — ORIGINE DES FAHLBANDES.

Dans la Norwége méridionale, les sulfures métalliques accompagnent fréquemment le gabbro éruptif. L'exemple le plus remarquable se présente sur la côte sud-est à Bam-

ble, dans la mine de Meinkjœr, dont la *fig.* 3, Pl. IX, donne le plan. Au contact des schistes fondamentaux et du gabbro, se trouve une écorce de pyrites massives, contournant les limites irrégulières de la roche éruptive, et atteignant en certains points $1^{m},80$ de puissance. C'est de la pyrite magnétique nickelifère massive avec des cristaux de pyrite cuivreuse et de pyrite de fer cobaltifère; il s'y trouve aussi des cristaux de hornblende, ainsi que des traces de blende. Les mêmes sulfures parsèment le gabbro dans son épaisseur. — Aux environs de Bamble, il y a plusieurs cas semblables.

Près de Kongsberg, on rencontre un gisement analogue à la mine de pyrite de Steenstrup, située sur le bord oriental du champ de gabbro de Vinoren, au nord du Laugen, et dont la *fig.* 4, Pl. IX, donne la coupe verticale. Mêmes conditions; mêmes minerais; la seule différence est qu'ici la blende est plus fréquente et la pyrite de fer en très-grosses nodules.

Sur la côte ouest de Norwége, dans l'île de Karmö, se trouve le gîte important de Vigsnœs, déjà cité, dont la *fig.* 5, Pl. IX, donne une coupe nord-sud. C'est de la pyrite de fer massive en agglomération cristalline, entremêlée de cristaux et sillonnée de petits filets de pyrite cuivreuse, avec des stries de blende et quelques cristaux de hornblende. Cette masse a la forme d'une colonne aplatie de 70° à 73° de plongement vers le nord, de 90 à 45 mètres de longueur en direction, de 11 à 3 mètres de puissance utile. Elle est encaissée entre des schistes métamorphiques, imprégnés de cristaux de pyrite de fer, et coupés par de petits filets de pyrite cuivreuse. Du côté sud, ces schistes imprégnés ont 18 mètres de puissance; au delà, on rencontre de grandes masses de gabbro éventuellement imprégné. Du côté nord, on a des schistes imprégnés en puissance moindre, puis un banc de quartzite, et au delà des schistes non imprégnés. Il s'agit ici de

schistes à Dictyonema et à Olenus (taconique supérieur, étage 2) (*).

D'autre part, un simple coup d'œil sur la carte géologique des environs de Kongsberg, fait voir que les principales fahlbandes sont dans le voisinage du gabbro.

La grande fahlbande de l'Overberg longe le champ de gabbro du sud. La fahlbande de Sud-Vinoren contourne le Dronnigkoll, à l'extrémité méridionale du champ de gabbro du nord. Les fahlbandes de Skara, de Helgevand, de Anna Sophie, de Kjernerudvand, accompagnent des dômes de gabbro. Auprès de la grande fahlbande de l'Underberg, on trouve le gabbro, sinon sur de grandes étendues, du moins en petits dômes à l'Haus Gabel Aas, au Venngsdal et à l'ouest de Sagrenden entre le Kobberbergs et le ruisseau du Lassedal.

On rencontre, il est vrai, d'autres fahlbandes sans aucun gabbro dans le voisinage. Mais si l'on considère en combien d'endroits isolés le gabbro apparaît aux environs des deux champs éruptifs principaux, on peut supposer qu'il forme en profondeur des masses considérables, même là où il n'a pas percé la roche fondamentale de part en part. Ainsi, en 1859, la galerie Christian (le long de la fahlbande de l'Overberg) a recoupé du gabbro au niveau de 350 mètres, en un point à l'aplomb duquel il n'est pas signalé à la surface.

On voit donc qu'il y a relation de position entre les fahlbandes et le gabbro. On a vu que le gabbro est souvent accompagné de sulfures métalliques, et que ceux-ci sont identiques aux principaux sulfures d'imprégnation des fahlbandes, pyrite de fer, pyrite cuivreuse, pyrite magnétique. Il est, par suite, naturel d'admettre, avec MM. Kjerulf et Dahll (**), que *l'éruption du gabbro a ouvert les chéneaux d'émanation des sulfures métalliques*, lesquels ont imprégné les schistes préexistants et *formé les fahlbandes.*

(*) Voir l'appendice, page 483.
(**) *Om Kongsbergs Ertsdistrikt.*

DEUXIÈME PARTIE.

Historique des mines de Kongsberg. — L'argent fut découvert en 1623, à Kongsberg (*), sur l'Overberg. Dès 1636, l'État norwégien possédait 14 mines dans le nouveau district. En 1723, on trouva l'argent à Vinoren. Le nombre des ouvriers augmenta rapidement. Vers le milieu du siècle dernier, époque de la plus grande activité à Kongsberg, le Sölvværk, — c'est le nom donné au service royal des ingénieurs de l'État pour l'exploitation des mines d'argent de Kongsberg, — employait environ 4.000 ouvriers; mais la plupart des mines du district étaient exploitées à perte, et, depuis 1770, il y eut constamment déficit. En 1805, l'État arrêta les travaux; il renvoya presque tous les ouvriers, alors au nombre de 2.500 environ. La production totale de 1623 à 1805 avait été de 2.360.140 marcs d'argent fin (**).

En 1815, l'État reprit l'exploitation, mais sur une échelle beaucoup moindre. Les deux mines du Roi et des Pauvres seules furent travaillées. Cependant, de 1815 à 1831, il y eut encore déficit, et absorption des subventions annuelles de la Chambre des représentants; la production totale de cette période ne dépassa pas 78.418 marcs. Les résultats devinrent ensuite plus favorables, la mine du Roi s'étant montrée très-riche. Vers 1846, on reprit également l'exploitation de la mine du Secours-de Dieu-dans-le-Besoin.

En 1833, année de plus grande richesse à la mine du

(*) Vingt et un ans plus tôt que le cuivre à Röraas.

(**) 1 marc d'argent norwégien = $0^k,234$.

Roi, la production de Kongsberg atteignit 44.000 marcs. De 1834 à 1838, la production moyenne par année a été de 27.423 marcs; — de 1839 à 1843, 25.454; — de 1844 à 1848, 23.464; — de 1849 à 1853, 20.552; — de 1854 à 1858, 32.862; — de 1859 à 1863, 16.090. Depuis 1863, la production annuelle s'est tenue aux environs de 16.000 marcs. En 1876, le chiffre exact a été 17.380 marcs.

Les sept huitièmes environ de la production actuelle proviennent des mines du Roi et des Pauvres. La première seule est prospère. La seconde fait ses frais. La mine du Secours-de-Dieu s'exploite à perte. Une quatrième mine, celle de la maison de Saxe, vient d'être reprise, et n'a pas encore donné d'indication sur sa richesse.

Lors de la crise financière de 1854 à 1865, l'État fit enlever toutes les réserves de minerai riche à Kongsberg, et réalisa ainsi une somme de 1 million de species (*). C'est une dette de l'État envers le Sölvværk. Pour le Sölvværk, c'est une réserve changée de forme, rapportant et donnant des intérêts. En temps prospère, les intérêts vont dans les caisses de l'État, et l'exploitation apporte de plus un bénéfice net (d'environ 700.000 species par an depuis une quinzaine d'année). Mais, s'il y avait déficit à Kongsberg, le Sölvværk reprendrait les intérêts de son capital de réserve.

En 1856, l'État a vendu à des sociétés privées toute la partie de son ancien district minier situé à l'est du Laugen, d'une part, et au nord du Jondals, de l'autre. A Vinoren, l'ancienne mine Principale (Hoved Grube) est exploitée actuellement.

— L'ordre adopté dans la seconde partie de ce mémoire facilite l'exposé des faits géologiques, mais n'est pas basé

(*) 1 specie norwégien = 5f,67.

sur l'importance relative des diverses parties du district minier.

Quelques termes étrangers ont été conservés pour abréger le langage, tels que *Grube* (allemand) mine; — *Drift*, puits, galerie, excavation de mine; — *Skjœrp*, petite mine à ciel ouvert; — *Stoll*, galerie de niveau débouchant à la surface et destinée au roulage ou à l'écoulement des eaux.

I. — VINOREN.

Il y a longtemps qu'on distinguait dans les filons de Kongsberg deux calcaires, l'un bitumineux et argentifère, l'autre blanc lamelleux et stérile; mais on les considérait comme les remplissages successifs des mêmes fentes.

C'est M. C. F. Andresen, directeur actuel des mines de l'État norwégien à Kongsberg, qui le premier a montré que, si le calcaire lamelleux se trouvait souvent dans les mêmes fentes que le calcaire bitumeux, il occupait parfois des fentes propres et remplissait des filons isolés d'une longueur plus ou moins grande; qu'il y avait là deux systèmes de fractures distinctes, dont le second avait tantôt réouvert les filons préexistants, tantôt provoqué de nouvelles cassures; qu'enfin lorsque les deux sortes de filons étaient distinctes et se croisaient, c'étaient les filons de calcaire blanc lamelleux qui recoupaient toujours les filons de calcaire bitumineux argentifère.

La détermination des âges relatifs des deux systèmes de filons eût été difficile dans les mines exploitées par l'État sur l'Overberg. Les faits se présentent plus clairement à Vinoren, et c'est là qu'ont été faites par M. Andresen les études qui vont d'abord nous occuper.

§ 1. — DESCRIPTION DE L'HOVEDGRUBE A SUD-VINOREN.

Peu de travaux ont été entrepris dans la portion de l'ancien district minier détachée du Sölvvœrk en 1856.

Une compagnie anglaise a fait quelques recherches à l'ancienne mine Anna Sophie Grube, un peu à l'est du Laugen, à 12 kilomètres environ au nord de Kongsberg. Les travaux ont été improductifs et arrêtés au bout de quatre à cinq ans.

Une société norwégienne a acheté le district de Vinoren, que la petite rivière de Ravnaas partage en deux parties, l'une nord, l'autre sud. De nombreuses mines étaient exploitées autrefois dans cette région. La *fig.* 1, Pl. VIII, indique les plus importantes. On voit qu'elles sont, les unes dans les schistes, les autres dans le gabbro, que les filons de Kongsberg recoupent également.

Dans le champ de gabbro de Vinoren, comme dans tout le district minier, les filons ont une direction est-ouest et un plongement presque vertical. Le plongement a généralement lieu vers le sud.

Quelques mots d'abord sur les travaux de recherches entrepris par la nouvelle société dans la *partie nord de Vinoren.*

Un faisceau important de filons argentifères a été anciennement exploité, comme le montre une série de neuf mines échelonnées de l'est à l'ouest, parmi lesquelles la Ny Segen Gottes Grube, qui comptait 200 mètres de profondeur. On en a repris trois; on a trouvé un filon de $0^m,02$ à $0^m,06$ de puissance, mais d'une très-faible teneur en argent. On n'a pas poursuivi les travaux. Sur un filon situé un peu plus au sud, se trouve également une série d'anciennes mines parmi lesquelles la Skalkjern Skjœrp, qui a été reprise. En un point le filon a été riche et a donné de 25 à 30 kilog. d'argent. Puis il s'est montré stérile sur une hauteur de 20 mètres, et a été abandonné.

— Arrivons à *la partie sud de Vinoren*, où des travaux considérables ont été entrepris et sont encore poursuivis aujourd'hui dans l'ancienne et importante *Hovedgrube* (mine Principale), située à la pointe sud du champ de gabbro, sous le Dronningkoll, et représentée par les *fig.* 8, 9 et 10, Pl. X.

L'Hovedgrube est formée par l'ensemble de plusieurs mines. Elle comprend, en allant du nord au sud : la *Christian VI Grube* (mine de Christian VI); les *Brand-op Drifts* (mines du Feu) *Nord et Sud*; la *Nordgang Grube* (mine du Filon Nord), sur un premier faisceau de filons; — la *Dronning Sofie Magdalena Grube* (mine de la Reine Sophie Madeleine), sur un second faisceau; — les *Munkeskjœrps* (petites mines des Moines) *Est et Ouest*, sur un troisième; — la *Norske Löve Grube* (mine du Lion Norwégien), sur un un quatrième.

L'Hovedgrube était desservie par trois stolls, à des niveaux différents. La principale est l'*Hovedstoll*, au niveau de laquelle est fait le plan de la *fig.* 9, Pl. X. Elle fait communiquer les Christian VI G., Brand-op Nord Drift, Dronning G. Elle débouche au jour vers l'est, suit généralement un filon en direction, et, vers l'ouest, s'arrête à la Christian VI G.; elle a 650 mètres de longueur. — La deuxième stoll est à 36 mètres au-dessus de la première. Le plan de la *fig.* 8, Pl. X, est fait à son niveau. Elle part de la Munkeskjœrp Ouest et se dirige vers le sud dans la direction de la Norske Löve G. Elle n'avait pas été achevée par les anciens. — La troisième stoll est à 90 mètres au-dessus de l'Hovedstoll; elle vient de l'est et aboutit à la Munkeskjœrp.

Les Christian VI G., Nordgang G., Dronning G. et Norske Löve G. ont été foncées à partir de la surface et avaient des puits d'extraction spéciaux; elles descendaient au-dessous du niveau de l'Hovedstoll. Les Brand-op Nord et Sud Drifts n'ont été commencés qu'à partir de l'Hovedstoll.

Les filons des Munkeskjœrps avaient été exploités complétement depuis le jour jusqu'au niveau de l'Hovedstoll du côté est, et d'une manière discontinue du côté ouest; une galerie en travers reliait l'Hovedstoll à la Munkeskjœrp Est.

Voyons maintenant les travaux exécutés depuis la reprise de l'Hovedgrube.

On ne voulut pas remettre en état les anciens puits d'extraction. On décida d'approfondir le Brand-op Sud Drift (puits Sud du feu), de le mettre en communication avec les différents points à exploiter en dessous de l'Hovedstoll, et de l'employer comme puits unique d'extraction jusqu'au niveau de la stoll, celle-ci devant servir ensuite à l'évacuation au jour des minerais.

Le fonds de l'ancien puits de la Christian VI G. était à 24 mètres au-dessous de l'Hovedstoll. A un niveau inférieur de 6 mètres, on recoupa son prolongement par une galerie percée à partir du Brand-op Sud Drift (*), puis on s'enfonça, en exploitant de part et d'autre. Sur une hauteur de 60 mètres environ, le filon se montra uniformément argentifère, mais pauvre. Les travaux furent arrêtés.

Des galeries en travers faisaient communiquer, au niveau de l'Hovedstoll et à 36 mètres plus haut, la Christian VI G. avec la Munkeskjœrp Ouest. Ces galeries recoupaient un filon appelé *Krags Gang*. Celui-ci fut suivi par des galeries de direction aux deux niveaux. Il se montra pauvre et fut abandonné.

Cependant on approfondit le Brand-op Sud Drift. De ce puits, on ouvrit vers le sud à différents niveaux une série

(*) C'est dans le percement de cette galerie que M. C. F. Andresen, alors directeur de la société de Vinoren, découvrit l'existence de deux systèmes distincts de filons. Ce fut là le point de départ des études qu'on lui doit, et qui devaient mettre hors de doute ce fait intéressant également la géologie et l'exploitation des mines de Kongsberg.

de galeries en travers, allant recouper le Munkeskjœrpets Gang. La plus élevée est à 24 mètres au-dessus de l'Hovedstoll; la plus profonde, en septembre 1875, était à 80 mètres au-dessous (une d'elles, au niveau de l'Hovedstoll même, se voit sur la *fig.* 9, Pl. X). De part et d'autre des points de recoupe, le Munkeskjœrpets Gang a été exploré par des galeries de direction vers l'est et vers l'ouest. Entre les niveaux de 12 et de 24 mètres au-dessous de l'Hovedstoll, le filon s'est montré riche et a été exploité dans le Ny Munkeskjœrpets Drift (nouvelle mine des Moines); il a donné environ 900 kilog. d'argent fin. Plus bas le filon redevient pauvre.

Enfin, au niveau de 36 mètres au-dessus de l'Hovedstoll, on a achevé la stoll de 260 mètres dirigée de la Christian VI G. vers la Norske Löve G. Cette ancienne mine a été alors épuisée et reprise, mais jusqu'ici elle ne donne pas d'indications favorables.

Il est à craindre que tous les travaux cessent bientôt à Vinoren; car le capital de la société est presque complétement absorbé. Depuis vingt ans que les travaux de recherche ont été commencés, deux années seulement ont donné un faible bénéfice.

§ 2. — LES DEUX SYSTÈMES DE FILONS DE CALCAIRE BITUMINEUX ARGENTIFÈRE ET DE CALCAIRE LAMELLEUX.

Ce qui suit est tiré de la note intéressante dans laquelle M. C. F. Andresen a consigné ses observations sur l'Hovedgrube (*).

Plan à 36 mètres au-dessus de l'Hovedstoll (*fig.* 8, Pl. X). — Au nord-ouest de la mine apparaît, dans le puits principal de Christian VI, un puissant filon de calcaire lamel-

(*) *Om Gangformationen ved Kongsberg.* — Communication à la section de minéralogie et de géologie, le 10 juillet 1868, par M. C. F. Andresen.

leux de $0^m,36$ à $0^m,72$ et $1^m,44$ de puissance; il est suivi vers l'est par une galerie de 90 mètres de long, tantôt percée sur le filon même, tantôt le côtoyant. A l'est, il est croisé par un autre filon de calcaire lamelleux de $0^m,03$ à $0^m,12$ de puissance seulement, qui n'a été suivi que vers le nord, mais se continue vers le sud. A l'ouest de la mine et au nord du puits principal, se trouve un filon de même nature suivi par une courte galerie. D'autre part, dans la galerie de 90 mètres, on distingue deux filons argentifères de $0^m,01$ à $0^m,06$ de puissance, qui sont, l'un au nord, l'autre au sud du filon lamelleux; à l'est, ils s'écartent l'un de l'autre; à l'ouest, ils sont tous deux du côté nord. La fente du filon lamelleux s'est fait un chemin intermédiaire, ou a côtoyé de fort près un des filons argentifères, ou l'a réouvert, auquel cas le remplissage argentifère s'est perdu tout à fait dans le puissant remplissage lamelleux.

A 18 mètres plus au sud, dans la galerie en travers dirigée de la Christian VI G. vers la Munkeskjœrp Ouest, on rencontre deux filons argentifères, dont le Kragsgang. Puis on trouve deux autres filons argentifères appartenant au Munkeskjœrpetsgang. Ces filons sont également accompagnés d'un filon lamelleux. La galerie de direction vers l'est les suit, puis les perd, une branche ayant été prise pour le filon principal, et enfin les retrouve.

Plan au niveau de l'Hovedstoll (*fig.* 9, Pl. X). — On retrouve, au nord du plan considéré, les deux mêmes filons argentifères et le même filon lamelleux qu'au nord du plan précédent. Si l'on suit l'Hovedstoll vers l'est à partir du puits principal de Christian VI, on voit dans la galerie les trois filons, les deux filons argentifères n'étant pas, comme plus haut, de part et d'autre du filon lamelleux, mais tous deux du côté nord.

Les deux filons argentifères ne font qu'un à l'ouest; ils se dédoublent vers l'ouest; la branche nord est exploitée dans le Brand-op Nord Drift, la branche sud dans le Brand-op

Sud Drift. Leur puissance en ce point est de 0m,006, 0m,012, 0m,018; le minerai y est assez riche. Plus loin à l'est, les deux branches s'écartent un peu, puis se rapprochent, et sont exploitées simultanément dans la Nordgang G., située à 45 mètres au nord de la Dronning G., et communiquant avec elle par une galerie en travers.

Quant au filon lamelleux, après avoir côtoyé les précédents depuis la Christian VI G. jusqu'auprès des Brand-op Drifts, il s'en écarte vers le sud dans la direction de la Dronning G. On le retrouve en suivant l'Hovedstoll dans son coude vers le sud; on le voit dans le puits principal de la Dronning G.; un peu au delà vers l'est, il apparaît de nouveau dans l'Hovedstoll, qui le suit ensuite jusqu'au jour. Sa puissance est de 0m,36 à 0m,42.

Le Krags Gang, à ce niveau, est plus rapproché du puits de Christian VI. Il a 0m,06 à 0m,10 de puissance, a été exploité et a donné quelque peu d'argent. Il présente plusieurs ramifications.

Son prolongement vers l'est n'a pas été constaté nettement dans les galeries en travers dirigées du Brand-op Sud Drift vers le sud. Il est probable que les branches du Kragsgang se réunissent plus loin à l'est au large filon lamelleux, et ont été exploitées simultanément dans la Dronning G. Mais cette mine n'étant plus abordable, on ne peut vérifier le fait. Le puits de la Dronning G. a sans doute été foncé à partir de la surface sur le filon lamelleux et le filon argentifère du Brand-op Sud Drift alors réunis; ceux-ci s'étant séparés, on aura poursuivi le filon lamelleux stérile, espérant qu'en profondeur il deviendrait argentifère, ce qui ne peut avoir eu lieu que par sa rencontre avec quelque autre filon argentifère.

C'était une fréquente erreur autrefois que d'exploiter des filons lamelleux; ainsi on voit encore des travaux sur le même filon stérile auprès du Brand-op Sud Drift.

Reste à examiner, au sud du plan, le faisceau filonien

argentifère des Munkeskjœrps. A l'ouest, au sud de la Christian VI G., il a des directions irrégulières, comme dans le plan précédent, mais compte encore plus de ramifications, de sorte qu'il est difficile de le poursuivre au moyen de galeries en direction. A l'est, au sud de la Dronning G., le faisceau se réduit à une seule fente de 0^m,10 à 0^m,20 de largeur. Le filon de calcaire lamelleux déjà indiqué plus haut, ayant 0^m,10, 0^m,20, 0^m,40 de puissance, le suit d'un côté ou de l'autre, et le traverse çà et là.

Autrefois on n'avait exploité le Munkeskjerpets Gang qu'à l'ouest et à l'est. Les nouveaux travaux ont été faits dans la région intermédiaire, du niveau de 24 mètres au dessus de l'Hovedstoll au niveau de 80 mètres au-dessous; l'allure du filon argentifère est régulière et sa puissance plus grande que celle du filon argentifère de la Christian VI G.

Coupe transversale nord-sud. — La *fig.* 10, Pl. X, donne la coupe transversale nord-sud de l'Hovedgrube suivant AB (*fig.* 9, Pl. X) et CD (*fig.* 8, Pl. X), depuis la surface jusqu'aux Brand-op Drifts (*).

A la surface, une petite mine de quelques mètres a été ouverte sur le filon du Brand-op Sud Drift, de 0^m,10 à 0^m,12 de puissance en ce point et assez argentifère. Le filon de calcaire lamelleux se voit à 4 mètres au nord du précédent. Plus au nord se trouve le filon du Brand-op Nord Drift, qui ne se montre nettement qu'à l'est de la coupe considérée. En profondeur, le filon lamelleux reste entre les filons argentifères jusqu'à quelques mètres du niveau de Hovedstoll, puis traverse le filon sud, et se continue vers le bas au sud des deux filons. Au-dessous de l'Hovedstoll, les deux filons argentifères se rapprochent tellement que les deux Brand-op Drifts se réunissent en un seul puits. Plus bas, on remarque une ramification vers le nord.

(*) Cette coupe se rapporte à l'état des travaux en 1868, tandis que les deux plans précédents sont au courant.

Conclusion. — M. Andresen a ainsi prouvé que les deux systèmes de filons de calcaire bitumineux argentifère et de calcaire lamelleux stérile étaient distincts. De plus, il a étudié les points de croisement de ces deux systèmes, et partout trouvé que les filons lamelleux traversaient nettement les filons argentifères (sans que généralement il y eût rejet). *Les filons lamelleux sont postérieurs aux filons argentifères.*

§ 3. — ALLURES DES DEUX SYSTÈMES DE FILONS (*).

Les *filons argentifères* ont une puissance très-variable, mais toujours faible. On ne leur voit qu'exceptionnellement une épaisseur de $0^{m},06$ à $0^{m},20$. En inclinaison la puissance reste souvent constante sur une grande hauteur, mais en direction elle varie brusquement : les renflements et les étranglements se disposent ainsi en zones allongées suivant le plongement. Parfois la fente est tellement resserrée, qu'il n'y a eu place pour aucun remplissage.

Il y a plutôt faisceau filonien que filon unique. Le filon se ramifie sans cesse soit en direction, soit en inclinaison, les branches se réunissant de nouveau ou restant séparées. Le long des fentes principales la roche s'est souvent écaillée, et la branche filonienne porte alors une série de petites tiges dont la longueur ne dépasse pas quelques mètres : ces parties sont généralement les plus argentifères.

Les filons argentifères n'ont guère plus de 300 mètres de direction. A la surface, ils forment un réseau de boutonnières courtes et parallèles.

Les *filons de calcaire lamelleux* ont une puissance beaucoup plus grande et plus constante que les précédents. Ils ont aussi des ramifications, mais assez rares; jamais la roche

(*) Les filons dont il s'agit ici sont dans le gabbro. Les filons de l'Overberg, dans la roche fondamentale, en diffèrent peu comme allure.

n'est fendillée sur leur parcours comme le long des filons argentifères.

Les filons argentifères formaient des zones de moindre résistance, que le nouveau système de fractures n'a fait parfois que réouvrir. Alors le nouveau remplissage est encaissé par l'ancien, et englobe ses débris anguleux. C'est ainsi que certains filons argentifères ont acquis postérieurement à leur formation une puissance notable (Munkeskjœrpets Gang, Kongens Hovedgang, etc.). Mais plus souvent la nouvelle fente côtoie l'ancienne. Alors l'adhérence entre la roche et le remplissage ancien a été plus grande que la cohésion même de la roche, fait qui se vérifie journellement dans la pratique de l'abatage.

Il arrive fréquemment que le filon de calcaire lamelleux suit telle branche de filon ancien, puis se réfracte et passe à telle autre branche parallèle, et ainsi de suite. Aussi, tandis que, règle générale, les filons argentifères ont un plongement très-raide, les filons lamelleux présentent, dans les parties réfractées, des plongements de 45° et moins.

En direction, les filons récents sont plus faciles à suivre, car leurs fentes sont plus larges et plus continues; d'autre part, leur développement dans le sens horizontal est toujours considérable. Considérons, par exemple, le filon lamelleux des mines de Christian VI, de Brand-op et de Dronning. L'Hovedstoll le suit jusqu'au jour. Il est ainsi connu, dans l'Hovedgrube, sur une longueur de 540 mètres. A la surface, si l'on poursuit son prolongement vers l'est à partir de l'ouverture de la stoll, on arrive au bout de 72 mètres à un ancien trou de mine ouvert sur le même filon. C'est encore lui qui, à 180 mètres plus loin vers l'est, a été exploré, au croisement d'une fahlbande puissante, par la nouvelle société; on n'a pas trouvé trace d'argent, et l'on s'est enfin aperçu qu'on travaillait un filon récent et par suite stérile.

§ 4. — REMPLISSAGES DES DEUX SYSTÈMES DE FILONS (*).

Le remplissage des *filons argentifères* se compose en presque totalité de chaux carbonatée spathique. Celle-ci est toujours plus ou moins bitumineuse ; sa couleur varie du gris au noir : parfois le carbone se rencontre même sous forme authraciteuse ou terreuse. La barytine cristallisée (en tables) et généralement bitumineuse, le quartz cristallisé et le spath fluor (**) forment, après la chaux carbonatée, les trois éléments principaux du remplissage. On trouve ensuite, en sous-ordre et en proportions très-variables, de la blende, de la galène, de la pyrite magnétique, du mispickel et de la pyrite de cuivre.

L'argent se rencontre principalement à l'état d'argent natif et d'argent sulfuré. L'argent natif se trouve le plus souvent en grains parsemant le calcaire ou en fils minces hérissant la cassure de la roche. Il affecte aussi la forme de lames minces, de dendrites, etc. Enfin il peut se présenter en fils épais et gros, en cristaux cubiques, octaédriques, etc. Le sulfure d'argent est généralement amorphe ; parfois il est cristallisé en cubes, en octaèdres, etc. On trouve aussi de l'argent rouge en prismes hexagonaux, et du sulfo-antimoniure d'argent [$(AgS)^6$, $Sb^2 S^3$] en cristaux appartenant au système du prisme rhomboïdal droit.

Les minéraux indiqués et quelques autres assez rares qui sont mentionnés au chapitre V, constituent un remplissage très-variable dans le même filon. Le mineur exercé juge, à l'aspect de la cassure fraîche, si le filon a chance d'être riche, s'il est « *beau* » (Smuk Gang) et « donne de l'espoir » : une des conditions est la présence de sulfures métalliques, blende, galène, etc., créant dans la masse

(*) Les remplissages respectifs des deux systèmes de filons sont sensiblement les mêmes à Vinoren et sur l'Overberg.

(**) Le spath fluor est rare à Vinoren et abondant sur l'Overberg.

de petites surfaces brillantes et colorant diversement la cassure.

On ne rencontre guère de cavités ni de druses dans le remplissage ancien : il est généralement massif et cristallin, dur et compacte. Son adhérence à la roche encaissante est très-forte ; celle-ci est imprégnée de calcaire et fait effervescence aux acides sur une épaisseur de plusieurs pouces. En tel point de l'Hovedgrube, le gabbro noir verdâtre est devenu pâle de part et d'autre du filon (*).

Les filons *postérieurs et stériles*, ou, comme dit le mineur de Kongsberg « *laids* » (Styg Gang), et « sans espoir », ont une composition plus uniforme et plus simple. Le calcaire lamelleux et feuilleté, blanc de lait, forme presque exclusivement leur remplissage ; le quartz ne s'y trouve généralement qu'en sous-ordre. La pyrite de fer, rare dans les filons anciens, est fréquente et souvent très-abondante dans les filons de calcaire lamelleux ; elle se trouve en dodécaèdres pentagonaux, qui peuvent attendre de grandes dimensions. On y trouve aussi de la blende, mais rarement. Ni carbone ni argent sous aucune forme.

Les druses sont beaucoup plus fréquentes dans ces filons, et le calcaire y cristallise, non-seulement en lamelles hexagonales, mais aussi en prismes courts hexagonaux, avec ou sans pointement rhomboédrique, tantôt blancs transparents, tantôt clairs et sans couleur précise.

Le remplissage est tendre, manque de cohésion, et s'émiette facilement. La pyrite de fer qui le parsème est décomposée dans les anciens travaux et le rend fortement rouillé.

(*) Le même phénomène se présente parfois dans les schistes amphiboliques noirs verdâtres, par exemple à Haugsund. Haugsund est à 20 kilomètres au nord-est de Kongsberg, c'est-à-dire en dehors du district minier. On y trouve des filons de calcaire argentifère de même direction et de mêmes caractères que ceux de Kongsberg.

Quand la fente est large, le remplissage des filons anciens ou postérieurs renferme des débris de roche encaissante; mais le cas est beaucoup plus fréquent dans les filons de calcaire lamelleux.

Il arrive exceptionnellement qu'on trouve de l'argent dans les filons de calcaire lamelleux. Il faut remarquer que ces filons serpentent au milieu de filons argentifères et parfois tellement riches que l'argent y domine, que les nouvelles fentes ont réouvert les anciennes sur certaines portions de leur trajet, et qu'enfin les roches encaissant les filons argentifères sont souvent imprégnées d'argent de part et d'autre sur une épaisseur de plusieurs mètres; il est donc fort possible qu'il se soit trouvé çà et là de l'argent entraînable dans les chéneaux d'émanation du second remplissage. D'ailleurs l'argent ne se trouve jamais qu'à l'état de traces dans les filons lamelleux, et y affecte un aspect tout autre que dans les filons argentifères proprement dits.

§ 5. — LES FILONS ANCIENS DANS LA SYÉNITE.

Dans l'Hovedgrube se rencontre un dyke de syénite recoupant le gabbro. Il a 30 mètres à 32 mètres de puissance; de part et d'autre, il envoie dans le gabbro des ramifications nombreuses formant une zone confuse de plusieurs mètres de largeur. Il est vertical et dirigé du nord au sud. Il se trouve à l'est de la Munkeskjœrp Ouest, et à l'ouest des galeries en travers menées à partir du Brand-op Sud Drift vers le sud à des niveaux successifs (la galerie du niveau de l'Hovedstoll (*fig.* 9, Pl. X) est dans la zone mixte et confuse).

Le gabbro en place, de part et d'autre du dyke, ainsi que ses débris à l'intérieur du dyke, sont généralement imprégnés de sulfures métalliques. Au contraire, la syénite n'est jamais imprégnée.

Les filons traversent le gabbro et la syénite ; le remplissage ne diffère pas dans les deux roches, mais jamais il n'y a trace d'argent dans la syénite.

Ainsi considérons le Munkeskjœrpets Gang. Les galeries nord-sud, dirigées à l'ouest du dyke de syénite vers ce filon, ont, comme il a été dit, recoupé entre les niveaux de 12 mètres et 24 mètres au-dessous de l'Hovedstoll des parties riches, qui ont été exploitées dans le Ny Munkeskjœrpets Drift ; or tous les travaux productifs ont été faits dans le gabbro ou la zone mixte de gabbro et syénite mêlés. Au niveau de 40 mètres, le filon a été suivi en direction vers l'ouest ; argentifère dans le gabbro à l'est du dyke, il a été tout à fait stérile dans la syénite, et au delà, à l'ouest du dyke, est redevenu argentifère dans le gabbro. Au niveau de 12 mètres, on a également percé une galerie de direction vers l'ouest ; on avait trouvé beaucoup d'argent dans le gabbro à l'est ; mais dans la syénite, plus trace d'argent ; non plus, il est vrai, qu'au delà, dans le gabbro. Même résultat à 40 mètres au-dessus de l'Hovedstoll.

Ajoutons qu'au niveau de l'Hovedstoll, le Krags Gang, pauvre dans le gabbro, n'a plus été argentifère du tout vers l'est dans la syénite.

Enfin, il semble résulter de l'emplacement des anciens travaux, que les filons n'ont jamais été exploités que dans le gabbro.

En somme, les filons anciens sont ou ne sont pas argentifères dans le gabbro, mais *ne sont jamais argentifères dans la syénite.*

II. — L'UNDERBERG.

§ 1. — LES FILONS QUARTZO-AURIFÈRES.

Règle générale, à Kongsberg, les filons est-ouest sont normaux aux fahlbandes nord-sud. Les filons argentifères, bien qu'ayant peu d'extension en direction, sont plus longs que les fahlbandes ne sont larges, et traversent à la fois les schistes cristallins et le gneiss gris. Mais, à raison ou à tort, ils ne sont regardés comme réellement argentifères, et n'ont été exploités qu'au croisement des fahlbandes, comme on peut voir d'après l'emplacement des mines sur la *fig.* 1, Pl. VIII. Sur les deux fahlbandes principales des plateaux de l'Overberg et de l'Underberg, sont alignées les deux séries de mines les plus importantes du district.

Les anciennes mines de l'Underberg, toutes abondonnées aujourd'hui, ont été, de la part de M. Th. Hiortdahl, l'objet d'observations intéressantes, consignées dans une note parue en 1868, dont ce paragraphe est une traduction libre (*).

A l'extrémité nord de l'Underberg se trouvent les mines de Louise Augusta et de Charlotte Amalie. Puis vient, vers le sud, une série interrompue de 30 mines, dont la dernière est la mine de Samuel. Plus loin au sud, il y a encore plusieurs trous de mine aux environs de la Svartaas (Adam, Eva, etc.). Les 30 mines de l'Underberg sont reliées par l'Hovedstoll, grande galerie qui a son orifice près de la ville de Kongsberg, se dirige de là vers l'ouest, rencontre la fahlbande de l'Underberg vers son milieu, puis se divise en deux branches qui la suivent, l'une du côté sud vers Samuel, l'autre du côté nord vers Charlotte Amalie.

(*) *Om Underberget ved Kongsberg og om Guldets Forekomst sammesteds.* — Communication au collége académique, par M. Th. Hiortdahl, 1868.

Ces mines et cette stoll ne sont plus abordables; mais il existe, aux archives du Sölvvœrk, de vieux plans de mines, où sont indiqués les travaux effectués ainsi que les directions et les plongements des filons. C'est à l'aide de ces vieilles cartes que M. Hiortdahl a pu construire la coupe de l'Underberg suivant l'Hovedstoll, coupe donnée par le trait pointillé de la *fig.* 3, Pl. VIII. Le trait continu est la coupe de l'Overberg suivant la Christiansstoll, d'après la commission de 1865. Ces coupes montrent bien les systèmes de filons exploités par les mines de l'Underberg et de l'Overberg.

On voit que, contrairement aux filons de l'Overberg, ceux de l'Underberg plongent dans des sens variables, tantôt nord, tantôt sud; aussi se croisent-ils fréquemment. Vers le nord plongent les mines suivantes (en ne citant que les plus importantes) : Prinds Christian, Christian V, Gamle Segen Gottes, Juel, Hannibal, Fröken Christiane, Prindsen af Augustenborg, Trefoldighed, Silberspur Gruberne, Sophie Hedvig et Samuel. Sur les cartes consultées par M. Hiortdhal se trouvent indiqués tous les filons de chaque mine et tous ceux qu'a recoupés l'Hovedstoll; les plongements de 160 de ces filons y sont mentionnés : 75 ont lieu vers le sud et 85 vers le nord. Ils se répartissent de la façon suivante :

Au nord de Charlotte Amalie. .	20 filons, dont		18 vers le sud	et	2 vers le nord.		
Branche nord de l'Hovedstoll. .	56	—	31	—	25	—	
Branche sud de l'Hovedstoll. .	63	—	23	—	40	—	
Aux environs de la Svartaas. . .	21	—	3	—	18	—	

Au contraire, parmi les mines de l'Overberg, la Gottes Hülfe G. seule plonge vers le nord, et toutes les autres vers le sud. La carte de la Christiansstoll, par Meinich et

Knale, indique 251 filons recoupés entre l'orifice de la stoll et la Gottes Hülfe G. ; or tous, sauf un ou deux, plongent vers le sud.

D'après cela, on ne saurait dire que les mêmes filons se poursuivent de l'Overberg à l'Underberg, et traversent tout l'intervalle de gneiss gris.

— Le chemin qui mène de la ville de Kongsberg à la Gottes Hülfe G. sur l'Overberg, traverse la rangée des mines de l'Underberg entre Ulrich et Concordia. De ce point, en suivant vers le nord l'ancien chemin qui desservait ces mines, on rencontre d'abord la grande excavation dite Salomons Vidde, puis Fröken Christiane, Blygangen, etc., jusqu'à l'énorme ouverture de la Juels G. Sur le parcours, on voit se dresser devant soi les monuments grandioses qui témoignent de l'activité passée des mines de Kongsberg ; si l'on jette les yeux sur les haldes qui forment de part et d'autre de gigantesques murailles, on aperçoit sur un long trajet des échantillons de filons différant totalement des remplissages des autres parties du district minier. En effet, depuis Fröken Christiane jusqu'à Juel, on trouve sur les haldes fort peu de calcaire, tandis que partout ailleurs le calcaire prédomine. Ici, c'est un quartz bien cristallisé et rempli de druses, qui forme la majeure partie et le plus souvent la totalité du remplissage. En revenant ensuite sur ses pas et suivant la série des mines vers le sud, on voit qu'aux environs de Fröken Christiane, on sort de la zone quartzeuse, et que, plus au nord jusqu'à Samuel, les échantillons de filons ne diffèrent pas sensiblement de ceux du reste du district.

A la surface, on constate sur l'Underberg quelques filons quartzeux, mais peu puissants. Dans les anciens rapports relatifs aux mines de l'Underberg, il est souvent parlé de filons quartzeux avec druses dans le quartz ; parfois ces filons sont présentés comme distincts des filons calcaires et les côtoyant. De tels filons ne sont pas mentionnés

seulement dans les mines citées plus haut, où les haldes sont principalement quartzeuses, mais encore dans beaucoup d'autres mines de l'Underberg. A la collection de l'Université de Christiania, on voit de belles druses de quartz venant de Gotte allein die Ehre.

Ainsi donc on peut dire que, en plusieurs points de l'Underberg, se présente un système spécial de filons quartzeux avec druses, et que ces filons existent surtout en grand nombre dans la zone qui comprend les mines de *Fröken Christiane*, *Blygangen*, *Hannibal*, *Braunschweig* et *Juel*.

— Une partie des mines de l'Underberg était aurifère. Dans les anciens rapports, l'or est signalé aux mines suivantes : Beständige Liebe, Fröken Christiane, Blygangen, Hannibal, Braunschweig, Juel, Charlotte Amalie et Louise Augusta (cette dernière ne s'est montrée aurifère qu'en un seul point). Parmi elles, *Fröken*, *Blygangen*, *Hannibal*, *Braunschweig* et *Juel* forment une série continue. Cette série est précisément la même qui, d'après ce qu'on vient de voir, diffère des autres mines de l'Underberg, par la présence de filons de quartz avec druses. On est donc amené à conclure à une relation entre l'or et les filons quartzeux. Même relation à *Charlotte Amalie*. Cette coexistence de l'or et du quartz dans les filons est d'ailleurs conforme à l'expérience universelle.

Ainsi, sur une certaine zone de l'Underberg, se trouve un *système spécial de filons quartzo-aurifères*, distincts des filons de calcaire argentifère.

— L'or de l'Underberg n'est en réalité qu'un argent très-aurifère. MM. Hiortdahl et Samuelsen ont analysé un échantillon provenant de Fröken Christiane ; il tenait 45 p. 100 d'or. D'après un essai fait en 1733 et relaté dans le « Bergmanden », l'argent aurifère de Fröken tenait 26,9 p. 100 d'or. L'argent aurifère de Beständige Liebe était cité, en 1697, comme tenant 53 p. 100 d'or. Celui de Louise Augusta, en 1800, comme tenant 50 p. 100. Fordyce (miné-

ralogie de Brooke et de Miller) a analysé de l'argent aurifère de Kongsberg (la provenance n'est pas indiquée) à 27 p. 100 d'or. On a trouvé, en 1868, de l'argent aurifère à 27 p. 100 d'or dans la Blaarud Skjœrp (cette mine est au sud du Kobberbergs, et peut-être sur le prolongement de la série des mines de l'Underberg).

M. Hiortdahl fait remarquer que les teneurs d'or indiquées, 45, 50, 53, 28, 27 et 26,9 p. 100, peuvent se diviser en deux groupes et semblent se rapporter à deux combinaisons définies, savoir Au Ag (à 47,6 p. 100 d'or) et $Au^2 Ag^3$ (à 26,7 p. 100).

L'or renferme du platine (jusqu'à 5,5 d'après Samuelsen) et du palladium.

— L'argent n'est pas aurifère seulement sur l'Underberg, comme il résulte du tableau suivant :

PROVENANCE.		TENEUR en or.	ANALYSÉ par
		p. 100.	
Overberget.	Mines du Roi et des Pauvres (argent natif).	0,19	Samuelsen.
	Idem. idem.	0,45	
	Idem. (arg. coupellé).	0,38	
	Idem. Idem.	0,27	
	Mine du Secours-de-Dieu.	traces	
Underberget.	Fröken Christiane.	2,6	Hiortdhall et Samuelsen.
	Juels.	7,7	
	Gamle Segen Gottes.	traces	
Au sud du Kobberbergs.	Blaarud Skjœrp.	27,07	Samuelsen.
Environs d'Anna Sophie.	Filon Ramsrud nord.	35,30	Rördan.
	Idem. sud.	30,90	
	Idem. intermédiaire.	24,40	
	Anna Sophie G.	0,35	
	Ramvig Skjœrp.	10,17	
	Neues Glück.	11,80	
	Idem. Nord Skjœrp.	4,58	
	Idem. Sud Skjœrp.	7,80	
A l'est du Laugen.	Skjœlbreddalen.	7,4	
	Holtefjeld.	0	

§ 2. — LES FILONS QUARTZO-AURIFÈRES ET LES AUTRES FILONS DE KONGSBERG.

Nous avons déterminé dans le district de Kongsberg deux espèces distinctes de filons, l'un de calcaire bitumi-

neux argentifère sans or, ou à peu près (voir au tableau précédent les analyses des échantillons de l'Overberg), l'autre postérieur de calcaire lamelleux, sans argent, avec pyrite de fer.

Nous venons de constater sur l'Underberg une troisième catégorie de filons à remplissage de quartz avec un argent aurifère à 47,6 p. 100 ou 27,6 p. 100. D'après le tableau précédent, l'argent aurifère se montre en plusieurs autres points éloignés du district minier; parfois, il se présente dans les mêmes conditions, à la Skara G., par exemple, où il repose sur des druses de quartz ayant une ressemblance frappante avec celles de l'Underberg (*); le plus souvent, sa teneur en or est inférieure ou intermédiaire, ce qui peut s'expliquer par des venues de transition ou par des mélanges de remplissages-types. Ainsi, il est naturel d'admettre que le remplissage quartzo-aurifère existe sur toute l'étendue du district, bien qu'en sous-ordre.

Le remplissage quartzo-aurifère semble ne pas appartenir à un système propre de filons, mais être dû à une venue spéciale dans le second système postérieur de fentes, laquelle serait antérieure à la venue de calcaire lamelleux. Voici, brièvement résumées, quelques observations de M. L. Sundt à l'appui de cette opinion.

Sur les haldes des mines aurifères de l'Underberg, on ne trouve pas seulement le quartz décrit par M. Hiortdahl, mais encore un calcaire jaune clair, traversé en tous sens par des veinules de quartz, ayant un aspect fort caractéristique, se présentant en sous-ordre, mais parfois en très-gros blocs.

M. Sundt a exploré les environs de la région aurifère de l'Underberg et a constaté les affleurements de filons quartzeux, qu'il a pu suivre à la surface et observer au

(*) La collection de l'Université de Christiania possède une série d'échantillons provenant de la Skara G.

fond des ruisseaux, sur les flancs escarpés des vallées, dans les trous de mine, etc. Ces filons sont assez nombreux. Le quartz y domine et forme parfois tout le remplissage; il est tantôt blanc, tantôt coloré par la rouille; il est compacte ou criblé de druses de toutes dimensions. Le remplissage renferme aussi un calcaire jaune clair, sillonné de veinules de quartz, et pouvant devenir prédominant. En un mot, ces filons sont tout à fait semblables aux filons aurifères de l'Underberg.

La pyrite de fer y est très-fréquente : d'où la couleur rouille du quartz et du calcaire sur les haldes; en certains points les dodécaèdres rhomboïdaux sont abondants et volumineux. Les druses sont tapissées de cristaux de quartz, recouverts de grandes tables de calcaire lamelleux blanc, qui sont recouvertes elles-mêmes de petits cristaux de quartz. La puissance est généralement assez grande. La présence du calcaire lamelleux et de la pyrite de fer, ainsi que la puissance et l'allure, rapprochent ces filons des filons de calcaire lamelleux postérieurs.

Au contraire, les minéraux caractéristiques des filons anciens argentifères sont très-rares, et, s'ils se rencontrent, semblent appartenir à des filons préexistants réouverts.

Un filon quartzeux semblable, pyritifère, etc., se voit également à la surface de l'Overberg, auprès de l'ouverture de la mine du Roi; suivi en profondeur dans le puits principal, il passerait graduellement, d'après M. Sundt, à un filon de calcaire lamelleux.

D'autre part, le calcaire lamelleux serait accidentellement aurifère, par exemple, à Vinoren au Lichtloch n° 9, et à la Blaarud Skjœrp.

D'ailleurs, de l'étude des âges relatifs des minéraux du second système (voir le chapitre V), résulte que la venue de quartz est antérieure à la venue de calcaire lamelleux.

III. — L'OVERBERG.

---

§ I. — LES MINES ACTUELLES DE L'ÉTAT.

C'est sur l'Overberg que l'argent fut trouvé à Kongsberg, en 1623 : le filon découvert était le filon principal de la future *mine du Roi*. Cette mine, la première en date dans le district, n'a pas cessé d'être exploitée jusqu'à nos jours, sauf de 1803 à 1820, période de chômage général; elle est justement la plus célèbre, car à différentes époques elle a produit d'énormes quantités d'argent; aujourd'hui encore, à la profondeur de 564 mètres, elle est prospère, tandis que le reste des mines de Kongsberg est abandonné ou exploité à perte.

L'État norwégien exploite trois autres mines également situées sur l'Overberg : la *mine des Pauvres*, la *mine du Secours-de-Dieu-dans-le-Besoin*, et la *mine de la Maison de Saxe*. La mine des Pauvres est à quelques mètres au nord de la mine du Roi; elle a 578 mètres de profondeur; elle a eu des périodes très-riches, mais aujourd'hui est assez pauvre. La mine du Secours est à 1.200 mètres au nord de la mine du Roi; elle a 450 mètres de profondeur. La mine de la Maison de Saxe est à 1.200 mètres au nord de la mine du Secours; elle a 255 mètres de profondeur.

Voici, du sud au nord, la série des principales mines exploitées autrefois sur l'Overberg par l'État norwégien : Hackner Skjœrp, Greu Bernstorfs, Gnade Gottes, Gabe Gottes, Justits Skjœrp, Nye Justits, Gamle Justits, Armen, Kongens, Willen Gottes, Gottbescher, Herzog Friedrich, Gottes Hülfe in der Noth, Haus Oldenburg, Prinds Carl, Morgenstjern, Haus Sachsen, Sachsen Skjœrp, Siebenbruder Skjœrp, Söndre Kronprinz Skjœrp, Gud med Kronprindsen,

Kronprindsens, Friedericus V, Sillemyr Skjœrp, Svarte Thorsten, Kronprinds Frederiks.

Toutes ces mines sont alignées sur la grande fahlbande de l'Overberg. Elles sont allongées de l'est à l'ouest, et ont très-peu d'extension en direction. Elles sont tout en profondeur, et plongent presque verticalement. Le trait continu de la *fig.* 3, Pl. VIII, donne la coupe transversale de la série des mines de l'Overberg, coupe nord-sud, le long de la fahlbande, suivant les Frederiksstoll et Christiansstoll.

La *Kronprinds Frederiks Stoll* (galerie du prince royal Frédéric) débouche sur le versant sud de l'Overberg, et suit la fahlbande en direction jusqu'aux mines des Pauvres et du Roi, qu'elle atteint au bout de 1.200 mètres à 230 mètres au-dessous de l'orifice de la mine du Roi.

La *Christians VII Stoll* (galerie de Christian VII) est à une centaine de mètres plus bas. Elle est percée au contact de la fahlbande et du gneiss gris. Dans le projet primitif, elle devait traverser l'Overberg dans toute sa longueur, depuis la vallée du Kobberbergs jusqu'à celle du Jondals, et relier toute la série des mines énumérées. Mais cette idée grandiose a été abandonnée. Commencée à ses deux extrémités, la Christiansstoll n'a été continuée que du côté sud. Elle relie aujourd'hui les mines des Pauvres, du Roi et du Secours. Elle a atteint cette dernière au bout de 3.580 mètres. Elle la dépassait de 300 mètres en automne 1875, et sera poursuivie jusqu'à la mine de la Maison de Saxe (*).

(*) On trouve à Kongsberg un dernier reste d'exploitation par le feu, encore appliquée en 1875 au percement de la Christianstoll et d'une galerie de la mine des Pauvres. L'abatage au feu, autrefois beaucoup plus économique que l'abatage à la poudre, lui est aujourd'hui équivalent comme prix, même en Norwége, mais sera prochainement abandonné, vu la hausse constante des bois. Il avance un peu plus vite et facilite l'aérage.

L'extraction, l'épuisement et la préparation mécanique se font à Kongsberg exclusivement au moyen de forces naturelles. L'aménagement hydraulique date de la fin du XVIIᵉ siècle. Il a dû coûter beaucoup de premier établissement; aujourd'hui il est entretenu à peu de frais.

Les dépressions naturelles du plateau de l'Overberg, au pied du Jonsknud, ont été utilisées et, par la construction d'énormes murailles aux points convenables, transformées en grands bassins, dans lesquels les eaux de pluie du plateau sont amenées par des conduits naturels ou artificiels. Les eaux ainsi rassemblées sur la hauteur descendent ensuite vers les mines de l'Overberg, où elles vont créer la force motrice.

Elles passent d'abord auprès de la mine de la Maison de Saxe, où une portion d'entre elles actionne une roue en dessus placée à la surface et opérant l'extraction jusqu'au jour. Les eaux du fond de la mine sont épuisées jusqu'au niveau de 140 mètres; les eaux filtrant dans les parties supérieures sont recueillies dans un réservoir qui les débite sous pression à une machine d'épuisement à colonne d'eau, placée également à 140 mètres; les eaux de la machine et les eaux épuisées s'écoulent par une stoll au même niveau.

Cependant, laissant derrière elles la mine de la Maison de Saxe, les eaux du Jonsknud, y compris celles qui ont opéré l'extraction de cette mine, descendent le long de l'Overberg jusqu'aux mines du Roi et des Pauvres, et reçoivent en route les débits de plusieurs bassins collecteurs situés à des niveaux intermédiaires. Elles sont dirigées vers l'orifice de la mine des Pauvres et y tombent. Elles descendent alors dans les anciens travaux aujourd'hui inabordables, passant alternativement de la mine des Pauvres à celle du Roi, et suivant un chemin complexe indiqué par des flèches sur la *fig.* 2, Pl. IX. A 100 mètres au-dessus du niveau de la Frederiksstoll, elles actionnent une roue hydraulique (8 à 9 chevaux) servant à l'extraction de la mine

du Roi; puis, à quelques mètres au-dessus de la Frederiksstoll, elles actionnent une turbine (8 à 9 chevaux) opérant l'extraction de la mine des Pauvres, et une roue hydraulique opérant l'épuisement simultané des deux mines (et ne marchant que deux à trois jours par mois). Elles s'écoulent ensuite par le Frederiksstoll, au sortir de laquelle elles descendent à la surface vers l'ancien atelier de préparation mécanique, dont elles actionnent les bocards, les tables à secousses, etc. (*). L'extraction des deux mines en question se fait jusqu'au niveau de la Frederiksstoll, par laquelle les minerais sont évacués, et l'épuisement jusqu'au niveau de la Christiansstoll, par laquelle les eaux du fond sont écoulées.

A la mine du Secours, les eaux de filtration des parties supérieures sont recueillies dans un réservoir placé à 219 mètres au-dessus du niveau de la Christianstoll, et de là débitées sous pression à une machine à colonne d'eau placée à 60 mètres au-dessus de ladite stoll. Cette machine opère l'extraction ainsi que l'épuisement (par bennes), jusqu'à la Christiansstoll, par laquelle eaux et minerais sont évacués. Au débouché de la Christiansstoll, se trouve le nouvel atelier de préparation mécanique, actionné par les eaux de la stoll et mis récemment en marche.

Avant peu, la Frederiksstoll doit être abandonnée, et la Christiansstoll servir à l'évacuation des minerais et à l'écoulement des eaux des mines des Pauvres, du Roi et du Secours. Les deux premières seront dotées chacune d'une machine d'extraction à colonne d'eau au niveau de la Christiansstoll. En outre, elles posséderont en commun une autre machine à colonne d'eau, servant à leur épuisement, et

(*) La préparation mécanique des minerais de Kongsberg et leur traitement ont été décrits en détail par M. Stalsberg, directeur de l'usine du Sölvværk, dans le *Berg-und-Hüttenmanns Zeitung* (décembre 1862).

de plus actionnant les farkunsts que l'on compte prochainement installer.

La *fig.* 2, Pl. IX, indique un changement de niveau de la Christiansstoll aux mines des Pauvres et du Roi; du côté sud, elle est à 337 mètres, et du côté nord, à 323 mètres (*). L'idée avait été de créer en ce point une chute pour utiliser les eaux d'écoulement de la stoll. Mais l'évacuation par roulage des minerais de la mine du Secours était rendu impossible. La force motrice fournie par les eaux venues d'en haut était d'ailleurs surabondante. On a racheté cette différence de niveau de 14 mètres, au moyen d'une galerie latérale à pente douce, se raccordant avec les deux étages de la stoll à des distances suffisantes de part et d'autre : c'est la *Skraabaneort* (galerie inclinée); elle présente vis-à-vis des mines des Pauvres et du Roi un tronçon horizontal, destiné à faciliter l'évacuation des minerais de ces deux mines.

§ 2. — LES FILONS DE L'OVERBERG.

Les filons argentifères sont nombreux sur l'Overberg, 271 avaient été recoupés, en automne 1875, par la Christiansstoll sur une longueur de 3.880 mètres. Leur plongement presque vertical a généralement lieu vers le sud. Les filons de la mine du Secours font exception. Ils ont en direction une longueur presque toujours faible, quand ils n'ont pas été réouverts par le second système de filons, et ne sont exploités qu'au croisement des fahlbandes, c'est-à-dire sur une petite fraction de leur longueur.

La direction générale des filons argentifères, celle du soulèvement auquel ils sont dus, est sensiblement E.-O. Mais telle n'est pas la direction observée dans les mines.

(*) Dans les mines du Roi et des Pauvres, les niveaux sont toujours comptés d'après leur profondeur à partir de l'orifice de la mine du Roi.

Considérons la mine du Roi. Sur les plans de cette mine (*), dont quelques-uns sont reproduits par les *fig.* 11 à 13, Pl. X, et 1 à 6, Pl. XI, on peut remarquer que la direction d'un filon quelconque est variable d'un point à un autre de ce filon, que très-voisine de l'E.-O. à l'extrémité est de la mine, elle tourne de plus en plus au S.-E-N. O. vers l'ouest, et même se rapproche du N.-S., vers lequel elle tend, à l'extrémité ouest. C'est une loi générale qui, comme on va voir, s'explique par l'influence des roches encaissantes.

Examinons, en effet, la nature de ces roches encaissantes sur la *fig.* 1, Pl. IX. A l'est se trouve le gneiss gris, dur et compacte, très-quartzeux dans cette région et tenant peu de feldspath et de mica. Dans la fahlbande, plongeant de 60 à 70° vers l'est, nous pouvons distinguer trois zones disposées suivant la stratification.

La première, à partir de l'est, se compose de *quartzites et schistes quartzeux* à grains très-fins, particulièrement durs et compactes, formés presque exclusivement de quartz avec un peu de mica et parfois de grenat. Cette zone renferme aussi quelques couches peu puissantes de schistes amphiboliques, formés de hornblende noire avec plus ou moins de quartz.

La seconde zone se compose principalement de *micaschistes*, moyennement durs et assez compactes, et de *schistes amphiboliques* assez résistants, mais très-fissiles.

La troisième zone, à l'ouest, se compose de roches tendres, de *schistes micacés*, feuilletés et parfois très-mous, et de *schistes chloriteux*, gras et dépourvus de toute résistance. Elle renferme aussi des schistes amphiboliques, mais en sous-ordre (**).

(*) Le Sölvværk possède les plans de ses mines de 20 en 20 mètres.

(**) Il y a des passages insensibles des schistes amphiboliques aux micaschistes, des schistes micacés aux schistes chloriteux, etc. De telles nuances ne peuvent se traduire sur une carte.

Ces trois zones ont une dureté décroissante et une schistosité croissante de l'est à l'ouest.

M. Holmsen a dressé en même temps que la coupe reproduite par la *fig.* 1, Pl. IX, une série de plans de la mine du Roi, où la stratification et la nature des schistes encaissants sont indiquées. La direction des couches est en moyenne de N. 5° à l'est de la mine, et de N. 355° à l'ouest. On peut donc dire que la fahlbande, et par suite ses trois zones, y ont une direction N.-S.

Cela posé, voyons comment varie la direction des filons de l'est à l'ouest de la mine. Dans le gneiss gris, dur et compacte, la direction de la fente est presque E.-O. Dans la première zone de la fahlbande, plus dure encore, mais moins uniforme de structure et grossièrement stratifiée, la fente se dévie un peu, mais très-peu, vers le N.-S.; elle est rectiligne. Dans la deuxième zone, moyennement dure, et très-fissile, la réfraction vers le N.-S. est notable; la fente est courbe. Dans la troisième zone, tendre et feuilletée, l'influence de la schistosité est encore plus grande, la direction de la fente se rapprochant de plus en plus de la direction de moindre résistance; la fente est tout à fait courbe, et arrive à faire moins de 45° avec le N.-S. Enfin, à la limite ouest de la troisième zone, les bancs de schistes chloriteux et micacés très-mous arrêtent invariablement la fente qui se perd en s'interstratifiant. La direction du filon, qui était d'abord E.-O., a ainsi tourné graduellement jusqu'au N.-S., et décrit un angle de 90°.

Le genre de cassure varie en même temps dans les zones successives. Dans le gneiss gris, ainsi que dans les schistes quartzeux, la fente est nette et relativement puissante. Dans les schistes amphiboliques et les micaschistes, elle se ramifie dans la roche écaillée. Dans les schistes micacés, elle est remplacée par un réseau de branches multiples et minces. Enfin, dans les bancs tout à fait tendres, le filon s'émiette entre les feuillets. Ainsi *la fente, en se pro-*

pageant de l'est à l'ouest dans la fahlbande, s'est d'autant plus déviée et divisée qu'elle a traversé des roches plus schisteuses et plus tendres.

A la mine du Roi, la direction moyenne des filons sur la longueur de la mine est de 120°E. — 300°O. Au nord, à la mine des Pauvres, et au sud, à la mine du Secours, la déviation est moindre, car les schistes micacés sont moins abondants. A cette dernière, les schistes quartzeux et amphiboliques forment presque exclusivement la roche encaissante, ce qui, soit dit en passant, rend l'abatage beaucoup plus coûteux.

— Les filons argentifères de l'Overberg ont une puissance généralement faible, plus faible même que ceux de Vinoren. Parmi les 251 recoupés par la Christiansstoll du jour à la mine du Secours, les 84 plus puissants ont une épaisseur moyenne de $0^m,015$, et, parmi les 167 autres, certains sont comparables à une feuille de papier. Beaucoup ont été réouverts et renferment du calcaire lamelleux, ce qui diminue encore l'épaisseur attribuable au remplissage argentifère.

Il y a des exceptions. L'Hovedgang de la mine du Roi a une puissance moyenne de $0^m,3$ à $0^m,6$. Au fond actuel de la mine, il a été réouvert et contient du calcaire lamelleux sur la moitié environ de son épaisseur. Mais on voit à la collection de Kongsberg des échantillons du filon complet à des niveaux supérieurs, mesurant plusieurs décimètres et formés exclusivement de remplissage ancien sans réouverture.

L'allure des filons argentifères est sensiblement la même dans les schistes cristallins de l'Overberg que dans le gabbro de Vinoren. Chaque filon se ramifie sans cesse en branches principales et celles-ci en branches secondaires, l'ensemble occupant une zone fissurée de 0,5, de 1, de 2 mètres de largeur. Les ramifications sont d'autant plus nombreuses et le fendillement d'autant plus grand, que

la roche est plus schisteuse et plus tendre. Mais les fentes multiples de la zone fissurée ne cessent pas de communiquer entre elles et de se rattacher à un tronc filonien central. Il y a toujours *filon proprement dit.*

Nous ne saurions donc être de l'avis de Durocher (*) quand il refuse d'assimiler entièrement les « groupes de fissures » de Kongsberg à des filons véritables. Nous ne pouvons admettre sa manière de représenter les « zones de veinules argentifères ». (Voir les *fig.* 26 et 27, Pl. VI, t. XV, 4me série des *Annales des mines.*) Les veinules argentifères ne sont jamais ainsi indépendantes les unes des autres; elles se relient toujours entre elles, et partent d'un *tronc filonien commun.*

Le filon, fente simple ou complexe, est rarement isolé et sans relation avec les filons voisins. On le suit en profondeur pendant 50, 100, 200 mètres et davantage, puis on trouve qu'il se réunit à son voisin de droite ou de gauche, ou qu'il se bifurque en deux grandes branches qu'il faut exploiter séparément. Les filons d'une mine appartiennent généralement à un grand faisceau et se relient à un grand filon central, plus régulier et plus puissant, qui est l'*Hovedgang* ou filon principal. Cette disposition en branches ramifiées d'un tronc principal apparaît sur la coupe transversale de la mine du Secours (*fig.* 3, Pl. VIII). Souvent deux mines voisines exploitent un même faisceau filonien; ainsi le filon sud de la mine du Roi devient à un certain niveau le filon nord de la mine des Pauvres (*fig.* 2, Pl. IX).

Le remplissage des filons argentifères est le même qu'à Vinoren, sauf que sur l'Overberg, le spath fluor est beaucoup plus fréquent; on le trouve parfois en grands et beaux cristaux cubiques ou octaédriques, hyalins, bleus, violets, rouges, verts. L'aspect de bon augure, défini par l'expres-

(*) *Annales des mines*, 4e série, tome XV, pages 355, 356 et 357.

sion de « Smuk Gang », et résultant de la présence simultanée d'un calcaire bien bitumineux, de blende et d'autres sulfures métalliques, se rencontre souvent dans les filons de l'Overberg, et particulièrement dans le filon principal de la mine du Roi. La blende est quelquefois abondante et peut former des bandes massives. Le calcaire bitumineux, généralement grisâtre et cristallin, peut devenir absolument noir et amorphe.

Le remplissage argentifère pénètre le plus souvent entre les strates et les clivages des schistes encaissants, jusqu'à une distance pouvant atteindre 2 et 3 mètres. On trouve fréquemment de grandes feuilles d'argent natif ainsi interstratifiées sur le côté du filon. Quand la roche est très-schisteuse, cette interstratification du remplissage équivaut à une véritable imprégnation argentifère. C'est pourquoi on abat les roches encaissantes sur une assez grande épaisseur de part et d'autre du filon; les excavations des mines de Kongsberg ont, en moyenne, 5 à 8 mètres de largeur.

Ici, comme à Vinoren, la roche encaissante est imprégnée de calcaire. En tel point, les schistes quartzeux gris clair sont devenus noirâtres de part et d'autre d'un filon de calcaire très-bitumineux.

Le système postérieur de filons à calcaire lamelleux existe sur tout l'Overberg, mais ses allures sont moins nettes qu'à Vinoren. Le calcaire lamelleux se présente fréquemment dans les mines du Roi, du Secours, etc., mais presque toujours à l'état de second remplissage dans les anciens filons réouverts; aussi était-il regardé, avant le travail de M. Andresen, comme une seconde venue des mêmes filons.

On rencontre cependant sur l'Overberg quelques filons de calcaire lamelleux, distincts et caractéristiques. La plupart sont dirigés de l'est à l'ouest : tel est le *Nebendrum* de la mine du Roi, qui sera décrit au chapitre suivant. Quelques-uns sont dirigés du nord au sud : tel est le filon

le long duquel est percée l'*Ilse Stoll*, qui fait communiquer la mine du Secours avec le versant nord de l'Overberg, à 90 mètres au-dessous de l'orifice de la mine.

§ 3. — LES FILONS DANS LE GNEISS GRIS.

On voit sur la coupe géologique longitudinale de la mine du Roi, *fig.* 1, Pl. IX, qu'à l'est de la mine, les travaux s'arrêtent partout au gneiss gris. De même pour les autres mines de l'Overberg.

La *fig.* 1, Pl. IX, indique sans doute une ligne de contact trop nette et trop régulière entre le gneiss gris et les schistes quartzeux. Entre ces deux formations, quoiqu'elles soient bien distinctes, il existe généralement, par suite de la compression et du froissement du terrain, une zone brouillée de quelques mètres. Dans cette zone, le filon est ou n'est pas argentifère ; il peut même être argentifère sur quelques mètres dans le gneiss gris ; mais au delà, il devient invariablement stérile.

On peut dire qu'*aucune des mines du district entier de Kongsberg ne se trouve dans le gneiss gris*. C'est là un témoignage qui a sa valeur contre la faculté enrichissante du gneiss gris. Les anciens, quelles que fussent leurs idées préconçues, ont en somme, pendant deux siècles d'exploitation, sondé le district en plus de 4.000 points ; ce qui donne quelque crédit à la loi posée par eux : « *Hors des fahlbandes, pas d'argent* » ; autrement dit : « *Dans le gneiss gris, pas d'argent.* »

Cependant, M. Kjerulf ayant combattu, en 1865, les idées admises à Kongsberg à ce sujet et contesté leur vérité ou, du moins, leur manque de preuve, le Sölvværk fit explorer quelques filons dans le gneiss gris.

On poussa dans le gneiss gris quatre galeries de direction, savoir : *Dans la mine du Roi*, *sur l'Hovedgang;* à 446 mètres, on s'avança de 70 mètres dans le gneiss gris ;

la puissance diminuait, et de 0^m,20 s'abaissait à 0^m,06, mais le filon était toujours très-net; le remplissage général ne changeait pas, mais il n'y avait nulle part trace d'argent. A 416 mètres, on s'avança de 40 mètres dans le gneiss gris; le filon avait de 0^m,05 à 0^m,10; même remplissage, mais pas trace d'argent. — *Dans la mine du Roi, sur le Sydgang;* à 350 mètres, on s'avança dans le gneiss gris; au bout de 4 mètres, on trouvait quelques traces d'argent, qui disparaissaient aussitôt; plus d'argent jusqu'à 18 mètres, point auquel on rencontrait un grand filon de quartz, auquel on s'arrêta. — *Dans la mine des Pauvres, sur l'Hovedgang;* à 540 mètres, on s'avança dans le gneiss gris de 48 mètres, sans trouver trace d'argent; le remplissage se composait en grande partie de calcaire lamelleux avec druses quartzeuses.

Ainsi, les filons argentifères explorés dans le gneiss gris en quatre points différents sur des longueurs de 70, 48, 40 mètres, se sont montrés, non pas pauvres, mais absolument dépourvus d'argent, sauf quelques traces en un seul point, et cela au voisinage immédiat de la zone est de la fahlbande, où, comme on verra au chapitre suivant, ils ont été exceptionnellement riches, et dans la région de Kongsberg, où se sont concentrées les plus grandes masses d'argent (*).

§ 4. — AGES RELATIFS DU PORPHYRE NOIR ET DES FILONS ARGENTIFÈRES.

Nous savons que les filons argentifères de Kongsberg

(*) Il est très-regrettable qu'on ait percé la Christiansstoll au contact du gneiss gris et de la fahlbande, là où la richesse des filons est faible ou nulle. Parmi les 271 filons recoupés du jour à la mine du Secours, il y en a sans doute qui sont très-riches au sein de la fahlbande, mais dont la valeur n'est pas soupçonnée, car elle ne s'est pas signalée au croisement de la galerie.

recoupent nettement, par ordre d'ancienneté, la roche fondamentale, le granite ancien, le gabbro, la syénite. Nous avons vu que la dernière roche éruptive qui se présente dans le district minier est un porphyre noir, que nous avons étudié dans la première partie de ce mémoire (chapitre I, 2ᵉ paragraphe) et que nous avons rapproché des porphyres noirs anthracifères du plateau central. Il nous reste à examiner les âges relatifs du porphyre noir et des filons argentifères.

Nous avons signalé le dyke de porphyre noir qui se trouve vers l'extrémité ouest de la mine du Roi (*fig.* 1, Pl. IX). Son croisement avec les filons argentifères est le plus souvent confus : on voit un mélange de calcaire et de débris de porphyre, et l'on ne peut rien conclure. Cependant, dans quelques cas assez rares, les choses se sont présentées plus clairement, et l'on a pu constater que le filon argentifère recoupait le porphyre.

Quand la fente du dyke est nette, elle est très-mince; tantôt elle contient du calcaire et de l'argent, tantôt elle est dépourvue de tout remplissage. Quant au filon calcaire, il éprouve généralement aux environs du dyke un déplacement plus ou moins grand avant de le traverser. Tout semble prouver que ce porphyre a opposé une grande résistance à la fracture et que les fentes filoniennes ne l'ont recoupé que difficilement.

Il y a une dizaine d'années, on perçait une galerie de direction vers l'ouest sur le filon principal de la mine du Roi, au niveau de 260 mètres. Le filon avait une puissance de $0^m,36$ et davantage; il était fort riche. Quand il rencontra le dyke de porphyre, sa puissance diminua tout à coup jusqu'à l'épaisseur d'une feuille de papier, et sa direction dévia notablement. Enfin il traversa le porphyre sous forme d'une fente très-nette, mais très-mince.

Grâce à la couleur blanche du filon calcaire, on peut le suivre facilement au travers de la masse foncée du porphyre,

même lorsqu'il se réduit ainsi à une simple feuille. Parfois c'est une feuille d'argent natif; le cas s'est présenté dans la Christiansstoll, au croisement d'un dyke de porphyre et d'un filon argentifère.

Au niveau de 266 mètres de la mine du Roi, un rejet très-net du dyke de porphyre par le filon principal a été constaté par M. Kjerulf en 1865; il est représenté par la *fig.* 6, Pl. IX, qui est un plan. Le dyke avait une puissance de $0^m,24$; le rejet était de $0^m,48$. Près du rejet, une ramification du filon principal rencontrait également le dyke; elle se retrouvait de part et d'autre, sans altération de direction, et traversait évidemment le dyke; mais la fente dans le porphyre était si mince, que les eaux minérales n'avaient pu y pénétrer et y déposer le moindre remplissage. A un niveau très-voisin du précédent, le croisement du même filon principal avec le même dyke de porphyre était confus et brouillé, comme c'est le cas le plus fréquent.

Nous avons dit qu'un autre dyke de porphyre noir avait été découvert, en 1875, dans le puits principal de la mine des Pauvres. De 564 à 578 mètres, profondeur actuelle des travaux, il est rencontré par le filon principal et une ramification de ce filon. Les nombreux croisements, qui ont pu être observés sur cette hauteur, se sont tous montrés obscurs, et ont soulevé des appréciations contradictoires.

Mais les deux exemples ci-dessus mentionnés nous semblent suffisants pour établir que *les filons argentifères sont postérieurs au porphyre noir.*

IV. — LA MINE DU ROI.

Après avoir déterminé les principaux systèmes de filons à Kongsberg et indiqué leurs caractères généraux dans les diverses parties du district minier, nous allons considérer

spécialement la mine la plus importante, celle du Roi, et décrire en détail ses filons, leur allure et la distribution du minerai dans leurs fentes des filons.

La mine du Roi peut se diviser en trois zones, dirigées du nord au sud et inclinées de 60 à 70° vers l'est, qui ne sont autres que les trois zones déjà déterminées de la fahlbande et encaissent respectivement : les deux zones extrêmes des colonnes d'enrichissement et la zone intermédiaire des colonnes d'appauvrissement des filons.

La carte de la mine du Roi, dressée en 1865 par M. Holmsen (*fig.* 1, Pl. IX), donne, en même temps que la coupe géologique du terrain, les coupes longitudinales des travaux à cette date. Voici, en anticipant un peu, comment elle est conçue:

	1re ZONE.	2e ZONE.	3e ZONE.
1re coupe suivant:	Le Sydgangs Drift. L'Hoveddrift.		
2e coupe —		Le Gamle Vestre Drift. Le Napoleons Drift.	
3e coupe —			Le Ny Vestre Drift.

Les trois coupes sont projetées simultanément sur un plan à peu près parallèle. Les conventions ordinaires relatives aux parties vues et cachées sont renversées, de façon que les excavations de la première coupe sont vues intactes, puis celles de la deuxième, autant que celles de la première, ne se projettent pas à la même place, etc. (*).

Les *fig.* 11 à 13, Pl. X, et 1 à 5, Pl. XI, donnent une série de plans de la mine du Roi, entre les niveaux de 212 mètres et de 306 mètres, avec l'indication des filons divers, d'après M. L. Sundt. La *fig.* 6, Pl. XI, donne le plan des mines du Roi et des Pauvres vers 380 mètres.

(*) Les lignes A, B, C, de la *fig.* 1, Pl. IX, sont les traces de 3 coupes géologiques transversales de la mine du Roi, qui ne sont pas reproduites dans ce mémoire.

§ 1. — 1re ZONE EST. — QUARTZITES ET SCHISTES QUARTZEUX.

La coupe transversale de la mine du Roi, donnée par la *fig.* 2, Pl. IX, est faite dans la première zone est, et devra être consultée au cours de ce paragraphe.

Hoveddrift (*fig.* 11, 12, 13, Pl. X, et 1, 2, 4, 5, 6, Pl. XI). — L'*Hoveddrift*, ou puits principal, est foncé sur l'Hovedgang, dans la première zone est, et règne depuis la surface jusqu'au fond de la mine. D'après les anciens travaux, l'Hovedgang a dû être riche du jour au niveau de la Frederiksstoll. Ensuite est venue une période pauvre jusqu'au niveau de 340 mètres, où l'exploitation fut momentanément interrompue. Mais au niveau de 382 mètres, on dirigea, à partir du puits principal de la mine des Pauvres, plus profonde que la mine du Roi, une galerie en travers vers le nord, laquelle recoupa l'Hovedgand de la mine du Roi en un point exceptionnellement riche. L'exploitation en fut aussitôt reprise, et alors s'ouvrit une période d'une prospérité sans exemple dans les annales de Kongsberg. Aujourd'hui encore cette zone de l'Hovedgang est très-productive, bien qu'à un degré moindre.

C'est entre 360 et 475 mètres qu'on a trouvé les plus grandes quantités d'argent. La puissance du filon était de $0^{m},60$ en moyenne. Tout le remplissage était formé du minerai le plus riche, renfermant des masses plus ou moins grandes d'argent natif et d'argent sulfuré.

D'autres nids argentifères ont été trouvés à des niveaux inférieurs. Vers 530 mètres, on a fait sauter, en 1867, d'un seul coup de mine, deux grands blocs d'argent et de sulfure d'argent massif, dont l'un pesait 161 et l'autre 124 kilog., ainsi qu'une foule de morceaux plus petits, le tout représentant un poids de 500 kilog. d'argent (*).

(*) Ce gros bloc métallique était formé d'argent sulfuré enve-

De 520 à 540 mètres, l'Hovedgang a été peu argentifère. De 540 à 552 mètres, il s'est montré très-riche. Le puits principal est arrivé aujourd'hui à la profondeur de 564 mètres.

Sydgangs Drift (puits du filon sud) (*fig.* 11, 12, 13, 13, Pl. X, et 1, 2, 3, 4, 5, Pl. XI). — A 24 mètres environ au-dessus du niveau de la Frederiksstoll, une branche filonienne se sépare de l'Hovedgang vers le sud : c'est le Sydgang de la mine du Roi, exploité jusqu'à 280 mètres dans le Sydgangs Drift, lequel a rencontré à ce niveau le Nordgangs Drift de la mine des Pauvres, où l'on exploitait le même filon sous le nom de Nordgang. Le Nordgang a été exploité dans la mine des Pauvres de 280 à 330 mètres, et semble avoir été mince et pauvre ; à 330 mètres, il se réduisait à une feuille stérile, et a été abandonné.

A 500 mètres, une galerie en travers a recoupé, au sud de l'Hovedgang, un filon argentifère, qui a été suivi en direction ; il avait $0^m,03$ à $0^m,06$ de puissance et contenait du minerai moyennement riche. A 520 mètres, une autre galerie en travers a rencontré le même filon, qui a de même été exploré à ce niveau ; il avait $0^m,12$ à $0^m,18$ de puissance et contenait du minerai très-riche. Un puits fut alors foncé sur ce nouveau filon sud, et son exploitation entreprise ; mais bientôt il rejoignait l'Hovedgang en direction, à l'est comme à l'ouest, ainsi qu'en profondeur.

Nebendrums Drift (puits du filon voisin) (*fig.* 11, 12, 13, Pl. X, et 1, 2, 3, 4, 5, 6, Pl. XI). Dans la zone est de la mine du Roi, a été exploité au siècle dernier un puissant filon de calcaire lamelleux, le Nebendrum, déjà cité, situé à 20 mètres environ au nord de l'Hovedgang ; en direction, il est plus voisin de l'E.-O. que l'Hovedgang ; vers

---

loppé d'une écorce d'argent natif et sillonné en plusieurs sens de feuilles d'argent. Il s'y trouvait des vides intérieurs, sortes de druses, remplies de cristaux de pyrite de cuivre, de galène et de chaux carbonatée en rhomboèdre.

l'ouest, il se rapproche de l'Hovedgang. et le rejoint sans doute. De 60 à 230 mètres, c'est-à-dire au-dessus du niveau de la Frederiksstoll, il semble avoir été assez argentifère, à en juger d'après la largeur des excavations; sa puissance est d'environ $0^m,60$. De la Frederiksstoll à la Christiansstoll, il doit avoir été très-pauvre ou tout à fait stérile, car les excavations sont très-étroites. Il fut alors abandonné. Des galeries en travers furent poussées vers lui à partir de l'Hovedgang aux niveaux de 380, 415, 425 et 450 mètres; il fut même exploré entre les deux derniers niveaux : il se montra toujours absolument stérile; sa puissance dans cette région n'est plus que de 0^m10. Enfin, vers 500 mètres, le Nebendrum est apparu dans l'Hoveddrift et a rejoint l'Hovedgang; depuis ce niveau jusqu'à la profondeur actuelle de 564 mètres, il chemine dans la même fente, tantôt au milieu, tantôt au nord du remplissage argentifère; il tranche très-nettement par sa couleur blanche sur le gris sombre du calcaire bitumineux; les deux remplissages réunis ont $0^m,20$ de puissance environ au fond de l'Hoveddrift.

Lettengang (filon argileux). — Au fond et à l'extrémité est de la mine du Roi, a été découvert un nouveau filon, le Lettengang, ayant une direction sensiblement N.-S. et coupant les quartzites sous un angle très-aigu en direction et en inclinaison. Il est représenté sur la coupe longitudinale de la mine (*fig.* 1, Pl. IX). Son remplissage est formé de débris de roches encaissantes, cimentés par du calcaire argentifère en sous-ordre. C'est une faille normale aux fentes argentifères, auxquelles elle est contemporaine ou antérieure, et dans laquelle les émanations argentifères ont eu accès.

Le Lettengang a été reconnu depuis 360 mètres jusqu'au fond de l'Hoveddrift et faiblement exploité à différents niveaux; partout il s'est montré argentifère, mais trop pauvre pour payer.

§ 2. — 2ᵉ ZONE INTERMÉDIAIRE. SCHISTES AMPHIBOLIQUES ET MICACÉS.

Gamle Vestre Drift (ancien puits de l'ouest) supérieur (*fig.* 11, 12, 13, Pl. X, et 1, 2, 3, 4, Pl. XI). — Le Gamle Vestre Drift règne sur toute la hauteur de la 2ᵉ zone. De la surface au niveau de la Frederiksstoll, il a sans doute été foncé sur le prolongement de l'Hovedgang vers l'ouest. Mais à ce niveau, il le perdit, et suivit un filon de calcaire lamelleux stérile (*). Il se montra complétement improductif jusqu'à la profondeur de 287 mètres, à laquelle il fut arrêté. Les excavations sont très-étroites dans cette région.

Prinds Napoleons Drift (puits du prince Napoléon) (*fig.* 13, Pl. X, et 1, 2, 3, 4, Pl. XI). — Au niveau de la Frederiksstoll, une galerie de direction percée vers le nord, à partir du Gamle Vestre Drift, rencontra un nouveau filon argentifère (**), appartenant également à l'Hovedgang (***). Il fut suivi en profondeur dans un nouveau puits, le Prinds Napoleons Drift. Sur une hauteur de plusieurs mètres, il eut une puissance de $0^{m},72$ et un minerai très-riche. Plus bas, sa puissance et sa richesse diminuèrent notablement, et les travaux furent arrêtés à 280 mètres.

Gamle Vestre Drift inférieur (*fig.* 5 et 6, Pl. XI). — Vers 290 mètres, des galeries de direction ouvertes à partir de l'Hoveddrift, retrouvèrent dans la 2ᵉ zone le prolongement vers le bas du filon du Napoleons Drift. Le filon fut suivi en profondeur par un nouveau puits qu'on continua à appeler le Gamle Vestre Drift. Il ne devint riche que vers

(*) Nous expliquerons au troisième paragraphe, à propos du Skraagang, la cause de cette erreur qui eut alors une influence funeste sur la mine du Roi.

(**) La rencontre eut lieu le jour de la visite du prince Napoléon à Kongsberg, en 1865.

(***) Nous verrons, à propos du Skraagang, que l'Hovedgang semble se dédoubler dans la deuxième zone.

320 mètres et resta tel jusqu'à 330 mètres. Il fut ensuite pauvre jusqu'à 340 mètres. Puis vint une période très-productive jusqu'à 470 mètres ; dans cette région, le Gamle Vestre Drift s'allonge et rejoint presque l'Hoveddrift, les massifs intermédiaires diminuant en conséquence. Vers 445 mètres, le filon était divisé en trois branches, assez rapprochées toutefois pour être exploitées dans le même puits ; la branche médiane avait de $0^m,15$ à $0^m,20$ de puissance et contenait un minerai des plus riches. Au-dessous de 470 mètres, le filon s'appauvrit et ne fut plus poursuivi. A 532 mètres, une galerie de direction, percée vers l'ouest à partir de l'Hoveddrift, suit l'Hovedgang sur une longueur de 80 mètres ; sa puissance, de $0^m,66$ dans la 1re zone, s'abaisse à $0^m,01$ dans la seconde ; le Nebendrum fait route avec lui.

§ 3. — 3e ZONE. OUEST. — SCHISTES MICACÉS ET CHLORITEUX.

Les filons de la mine du Roi ne furent d'abord exploités que dans la 1re et la 2e zone, les travaux les plus importants étant concentrés au fond de l'Hoveddrift. Il y a une quinzaine d'années à peine, on poussa des travaux de reconnaissance à l'ouest de la 2e zone, et l'on trouva que les filons se poursuivaient dans une 3e zone de schistes micacés et chloriteux. La nouvelle zone se montra très-riche, fut aussitôt exploitée, et acquit rapidement une importance au moins égale à la première. La carte de M. Holmsen (*fig.* 1, Pl. IX), datant de 1865, n'indique que les premiers travaux entrepris dans la 3e zone.

Ny Vestre Drift (nouveau puits de l'ouest) (*fig.* 15, Pl. X, et 1, 2, 4, 5, 6, Pl. XI). — C'est au niveau de la Frederiksstoll que l'Hovedgang fut reconnu pour la première fois au delà de la 2e zone par une galerie dirigée vers l'ouest à partir de Napoleons Drift. Il fut ensuite suivi en profondeur dans la 3e zone dans le Ny Vestre Drift, qui atteint en

plan des longueurs de 30 et 40 mètres. De 230 à 340 mètres, l'Hovedgang avait une puissance de $0^m,40$ et un minerai fort riche. Il envoyait dans les schistes encaissants de longues et puissantes feuilles d'argent interstratifié; aussi les excavations sont-elles très-larges dans cette partie de la mine. Une réserve importante y a été laissée; c'est la seule que l'on trouve aujourd'hui dans les mines de l'État. Au-dessous de 340 mètres, le filon devint un peu moins puissant et moins riche; les roches encaissantes ne furent plus guère argentifères. A 420 mètres, l'Hovedgang se divise en deux branches, dont la branche nord seule a été poursuivie. Elle s'est montrée extrêmement riche, et a produit des quantités considérables d'argent, particulièrement aux niveaux de 470 et de 490 mètres. Plus bas, et jusqu'à la profondeur actuelle, qui est de 550 mètres environ, la richesse a été moins grande.

A divers niveaux, l'Hovedgang a été exploré vers l'ouest au delà du Ny Vestre Drift. On a constaté ce fait déjà mentionné, que le filon oblique de plus en plus vers le nord, devient de plus en plus mince, et meurt en s'émiettant dans un banc de schistes micacés et chloriteux très-mous. La mine ne saurait donc s'étendre davantage en direction.

Au-dessus de la Frederiksstoll, il semble que la 3ᵉ zone est formée de schistes plus mous, et que l'Hovedgang y meurt aussitôt au sortir de la 2ᵉ zone.

Ny Sydgangs Drift (nouveau puits du filon sud) (*fig.* 13, Pl. X, et 1, 2, 3, 4, 5, 6, Pl. XI). — En 1864, un nouveau filon argentifère fut découvert dans la 3ᵉ zone à 20 mètres environ au sud de l'Hovedgang; il fut recoupé par une série de galeries en travers percées à partir du Ny Vestre Drift vers le sud, aux niveaux successifs de 232, 280, 320 et 332 mètres. Le nouveau filon se montra assez riche; sa puissance était généralement de $0^m,03$ à $0^m,06$; à 320 mètres, il avait $0^m,12$. Il fut exploité dans le Ny Sydgangs Drift depuis le niveau de la Frederiksstoll. A

la profondeur actuelle, qui dépasse un peu 380 mètres, il est devenu très-pauvre et doit être abandonné.

Le nouveau filon sud n'est autre que le prolongement vers l'ouest de l'ancien filon sud exploité autrefois dans la 1re zone. C'est ce qui a été vérifié à 244 mètres, où une galerie de direction réunit les Sydgangs Drift et Ny Sydgangs Drift.

Diagonal Gang (filon diagonal). — Une galerie en travers, percée au niveau de 310 mètres, entre l'Hovedgang et le Ny Sydgang, a recoupé un filon très-incliné qu'on a nommé Diagonal Gang. Il a été exploité de 310 mètres à 340 mètres, profondeur à laquelle il se réunit au Ny Sydgang, dont il est une branche.

Skiktningsgang (filon interstratifié) (*fig.* 13, Pl. X, et 1, 2, 4, 5, Pl. XI). — Dans la 3e zone se trouve un filon calcaire spécial : le Skiktningsgang, normal aux précédents et interstratifié dans la fahlbande, traversant du nord au sud les mines du Roi et des Pauvres. Son remplissage est formé de calcaire non bitumineux; sa puissance varie de 0m,03 à 0m,06; ses épontes sont unies et polies. Il est remarquable par la régularité de son allure. Connu de 140 mètres à 440 mètres dans la mine du Roi et de 140 à 550 mètres dans la mine des Pauvres, il a sur toute cette hauteur un plongement invariable. Suivi, au niveau de 340 mètres, depuis le filon principal de la mine du Roi jusqu'au filon sud de la mine des Pauvres, il a sur cette grande longueur une direction parfaitement rectiligne. Il sert de plan de repère dans ces deux mines. Les galeries allant du Ny Vestre Drift au Sydgangs Drift et à la mine des Pauvres, et, d'une manière générale, les galeries en travers de la 3e zone, sont toutes percées le long du Skiktningsgang (*fig.* 1, Pl. IX) (*).

(*) La coupe longitudinale donnée par la *fig.* 1, Pl. IX, suit les ondulations du filon principal. Son intersection avec le plan du

Le Skiktningsgang n'est pas argentifère; en quelques points très-rares (à 20 mètres au sud du Sydgang, à 2 mètres au sud de l'Hovedgang de la mine du Roi) on y a trouvé un peu d'argent, dont la présence peut s'expliquer par le croisement de veines argentifères ou le voisinage de filons riches. Quand le croisement du Skiktninsgsgang avec les filons argentifères est net, il les traverse. Il appartient probablement au second système de filons à calcaire lamelleux (*).

Skraagang (filon oblique) (*fig.* 11, 12, 13, Pl. X, et 1, 2, 3, 4, 5, 6, Pl. XI). — Il y a sept ans, M. Sundt découvrit dans la mine du Roi un nouveau filon, le Skraagang, essentiellement différent des filons argentifères de Kongsberg par ses caractères et son âge, et semblant avoir exercé une influence considérable sur leur direction, leur plongement, leur puissance et leur teneur en argent, et par suite sur la forme et la dimension de la mine.

La direction du Skraagang est exactement E.-N.-E. — O.-S.-O. Son plongement est d'environ 45 degrés vers le sud.

Au niveau de 200 mètres, il apparaît dans la 3e zone de

Skiktningsgang est une ligne courbe. Elle est remplacée sur la figure par une ligne brisée, joignant deux à deux les galeries en travers par lesquelles elle doit passer.

(*) Le Skiktningsgang est interstratifié dans la partie la plus riche de la troisième zone. Il traverse tous les travaux de cette zone. Certains filons ne se trouvent argentifères que dans son voisinage : tels sont le Diagonalgang dans la mine du Roi et les Nordgänge (filons nord) de la mine des Pauvres.

Les Nordgänge forment un groupe de 4 à 6 petites branches filoniennes, très-régulières comme cassure, très-faibles comme puissance ($0^m,003$ à $0^m,005$) et très-riches. Elles ne sont argentifères qu'au voisinage du Skiktningsgang, c'est-à-dire au centre de la zone enrichissante. Étant très-rapprochées, elles sont toutes exploitées dans le même puits, et ce puits, fait exceptionnel dans les mines de Kongsberg, a une direction nord-sud. Il règne de 180 à 270 mètres. Ces travaux sont actuellement les plus productifs de la mine des Pauvres.

la mine du Roi, et traverse tous les travaux des mines du Roi et des Pauvres, jusqu'au Sydgangs Drift de celle-ci. Plus bas, il sort des parties exploitées et n'est plus connu.

Le Skraagang est une faille remplie de débris de roches (*). Les débris, polis et souvent pulvérisés, accusent un glissement le long de la faille. Au milieu du remplissage, généralement vert sombre, serpentent de petites veines blanches de calcaire argentitifère. Le calcaire ne pénètre pas uniformément la masse, mais la sillonne en tous sens, à l'instar de petits filons. Accidentellement sa proportion peut augmenter et la couleur générale du Skraagang devenir plus claire (gris sale). La présence du calcaire dans le remplissage n'est pas générale; elle n'a lieu qu'aux voisinages des croisements du Skraagang avec les filons calcaires. Ailleurs, ce n'est plus qu'un brouillage de roches.

La puissance du Skraagang varie depuis une fente mince (comme par exemple dans le Christiansstoll) jusqu'à $0^{m},3$ et au-dessus. Parfois il se ramifie en deux branches éloignées de $0^{m},50$ à 1 mètre, ainsi aux niveaux de 260 et 296 mètres.

Nous avons vu les filons arrivant obliquement sur un banc micacé ou chloriteux très-mou, le suivre et s'y perdre. Le Skraagang agit également comme banc tendre, et quand les filons, qu'ils soient anciens argentifères ou postérieurs de calcaire lamelleux, le rencontrent, ils le suivent en direction et en inclinaison, y meurent, ou en ressortent considérablement amoindris et apauvris, après une déviation plus ou moins grande. C'est ainsi que le Skraagang peut devenir accidentellement argentifère. L'argent et le calcaire ne font pas partie de son remplissage propre et y ont été apportés après coup par les émanations des filons argentifères.

(*) Dans la troisième zone, micacée et chloriteuse, où le Skraagang a surtout été étudié, les matières chloriteuses dominent dans le remplissage.

— Ce fut l'influence perturbatrice exercée par le Skraagang sur le Ny Sydgang dans la 3e zone, entre les niveaux de 230 et 256 mètres, qui le fit découvrir; il fut rencontré par une galerie en travers vers le sud, au niveau de 244 mètres; suivi en profondeur, il fut argentifère et dès lors exploité. Le Ny Sydgang ressort du Skraagang vers 256 mètres; à ce niveau, le Ny Sydgangs Drift presque vertical rencontre le Skraagangs Drift incliné à 45°. Au niveau de 296 mètres, la distance horizontale des deux puits est de 30 mètres.

A 282 mètres, le Skraagangs Drift passe de la mine du Roi dans celle des Pauvres. Aujourd'hui il arrive à 300 mètres de profondeur environ. Le filon est très-pauvre et va être abandonné. Bien que pauvre, il a été généralement argentifère au milieu de la troisième zone, savoir depuis 2 à 4 mètres à l'est du Skiktningsgang jusqu'à 4 et 6 mètres à l'ouest.

Dans la mine des Pauvres, le Skraagang est encore connu à 330 et à 360 mètres; il n'est plus argentifère.

— L'influence du Skraagang sur l'allure des filons argentifères a été mise en évidence par M. Sundt, dont nous allons brièvement résumer les observations.

Considérons d'abord le *Sydgang* : Au niveau de la Frederiksstoll (*fig.* 13, Pl. X), le Sydgang est suivi en direction depuis le Sydgangs Drift jusqu'au Gamle Vestre Drift; là il rencontre le Skraagang au toit et au sud; il chemine avec lui sur une certaine longueur vers l'ouest, mais finit par le traverser, car on le trouve au mur et au nord dans la galerie en travers le long du Skiktningsgang.

En inclinaison, le Sydgang plonge également avec le Skraagang jusqu'à 260 mètres (*fig.* 1 et 2, Pl. XI). A 260 mètres, il est suivi en direction depuis le Sydgangs Drift jusqu'au Ny Sydgands Drift; il a d'abord sa direction propre, se réfracte ensuite dans le Skraagang et y disparaît

sur une certaine longueur, puis en ressort avec sa direction première.

A 274 mètres (*fig.* 3, Pl. XI), à l'extrémité est de la galerie de direction, le Sydgang sort du Sydgangs Drift, mais il se perd aussitôt dans le Skraagang. Il reparaît à l'ouest avec sa direction propre dans la galerie en travers percée vers le sud. D'après sa position, il doit s'être réfracté dans le Skraagang sur une certaine longueur.

A 280 mètres (*fig.* 4, Pl. XI), on voit encore d'après les positions du Sydgangs Drift à l'est et du Ny Sydgangs Drift à l'ouest, que le Sydgang a cheminé avec le Skraagang.

A 306 mètres (*fig.* 5, Pl. XI), le Skraagang se trouve au fond du SydgangsDrift; quant au Sydgand, il a disparu. Le Sydgangs Drift de la mine du Roi communique en ce point avec le Nordgangs Drift de la mine des Pauvres, mais bien que les deux puits soient foncés sur le même filon, ils ne sont pas dans le prolongement l'un de l'autre : c'est que le filon a été dévié en inclinaison par le Skraagang. De même en direction d'après les positions respectives des Sydgangs Drift et Ny Sydgangs Drift.

Dans la mine des Pauvres, où entre alors le Skraagang, il est rencontré par le filon principal de cette mine, lequel y disparaît; mais l'Hoveddrift est continué sans altération de direction, ce qui semble indiquer qu'on a retrouvé le filon argentifère au-dessous du Skraagang. A 360 mètres, le Skraagang est au fond du Sydgangs Drift de la mine des Pauvres; le filon argentifère y a disparu.

L'action du Skraagang sur l'*Hovedgang* de la mine du Roi est moins facile à déterminer.

A 224 mètres (*fig.* 12, Pl. X), le filon argentifère que le Gamle Vestre Drift supérieur suivait à partir de la surface est encore au toit du Skraagang. Mais un peu plus bas, dans le puits, on le voit rencontrer le Skraagang et y disparaître. Le puits prend à cet endroit une forte inclinaison, car il

fut alors foncé sur le Skraagang à la poursuite du filon perdu (*).

A 242 mètres (*fig.* 1, Pl. XI), on perdit l'espoir de retrouver le filon argentifère, et l'on continua ensuite le Gamle Vestre Drift verticalement sur des branches filoniennes de calcaire lamelleux qui se trouvaient là. Si l'on avait poursuivi le long du Skraagang, on eût retrouvé le filon cherché, car il ressort du Skraagang un peu plus bas (sur les *fig.* 2 et 4, Pl. XI, il se trouve entre le Gamle Vestre Drift et le Skraagang).

D'autre part, le Skraagang fut traversé par la galerie en travers percée vers le nord à partir du Gamle Vestre Drift au niveau de la Frederiksstoll (*fig.* 13, Pl. X), et c'est à son mur que fut recoupé le nouveau filon argentifère, exploité ensuite dans le Napoleons Drift et le Gamle Vestre Drift inférieur.

D'après M. Sundt, l'Hovedgang est dédoublé dans la deuxième zone en deux branches filoniennes, se réunissant d'ailleurs en direction à l'est comme à l'ouest. De la surface au niveau de 230 mètres, le Gamle Vestre Drift supérieur a suivi la branche sud, puis le Skraagang la lui fit perdre. Quant à la branche nord, elle rencontre le Skraagang au-dessus de ce niveau, le traverse et poursuit en profondeur dans le Napoleons Drift et le Gamle Vestre Drift inférieur.

Plus bas, on ne peut plus observer aucun croisement entre le Skraagang et l'Hovedgang. A 264 mètres (*fig.* 2, Pl. XI), le Skraagang passe dans l'Hoveddrift, mais on ne peut plus distinguer l'Hovedgang dans les anciens travaux.

En résumé, M. Sundt a examiné la rencontre de quatre filons argentifères avec le Skraagang; tous ont cheminé avec lui sur une certaine longueur et en sont ensuite res-

(*) Remarquons qu'en ce point le Sydgang chemine également avec le Skraagang.

sortis. Parfois les filons ne ressortent pas et meurent dans le Skraagang.

Même action du Skraagang sur les filons de calcaire lamelleux. Parfois ils ne s'y réfractent pas et le traversent sans déviation. Ce dernier cas, qui se présente, par exemple, au croisement du Skraagang et d'un filon lamelleux dans l'Hoveddrift, à 264 mètres, est important, car il prouve que les filons calcaires sont postérieurs au Skraagang, et que les déviations de ces filons dans le Skraagang ne sont pas des rejets; d'ailleurs, s'il y avait rejet, ce serait tantôt le toit, tantôt le mur du Skraagang qui devrait être descendu, et il y aurait contradiction.

Ainsi, la *faille appelée Skraagang existait lors de la formation des fentes filoniennes.* Elle a eu sur l'allure des fentes l'influence d'un banc tendre.

D'après M. Sundt, le Skraagang serait antérieur au porphyre noir.

V. — LES MINÉRAUX FILONIENS.

Les observations consignées dans ce chapitre sont dues à M. Sundt.

La liste complète des minéraux trouvés jusqu'à ce jour dans les filons de Kongsberg est la suivante : 1° *Gangues ordinaires :* quartz, chaux carbonatée, barytine, spath fluor, anthracite. — 2° *Sulfures métalliques :* pyrite jaune de fer, pyrite de cuivre, galène, blende, pyrite blanche de fer, pyrite magnétique. — 3° *Composés du titane:* titanite, anatase. — 4° *Phosphate:* wawellite (*). — 5° *Silicates anhydres:* feldspath adulaire (**), albite (**), grammatite, axinite (**),

(*) M. Daubrée.

(**) D'après MM. Kjerulf et Dahll, l'axinite, l'albite et le feldspath adulaire appartiendraient à la roche encaissante, mais M. Sundt les a souvent trouvés dans le calcaire du filon.

pistacite, amphigène. — 6° *Silicates hydratés* : prehnite, harmotome, apophyllite, desmine, stilbite, laumonite, argile, talc, chlorite, épidote, mica (*). — 7° *Métaux natifs:* argent, arsenic. — 8° *Composés argentifères :* argent sulfuré, argent rouge, sulfo-antimoniure d'argent, chlorure d'argent. — 9° *Produits de décomposition:* gypse, vitriol.

Parmi les minéraux caractéristiques du premier système de filons à calcaire argentifère, les principaux sont : l'anthracite et les substances bitumineuses, le spath fluor, les silicates anhydres.

Parmi les minéraux caractéristiques du second système de filons à calcaire lamelleux, se trouvent : les silicates hydratés (à l'exception de la chlorite), la pyrite blanche de fer.

Le quartz et la chaux carbonatée sont les plus importants des minéraux communs aux deux séries. Pour déterminer dans chaque cas à quelle formation ils appartiennent, on verra d'abord s'ils sont contemporains de minéraux caractéristiques ; à ce point de vue, l'anthracite et les substances bitumineuses seront très-utiles. La forme cristalline pourra ensuite donner quelques indications.

Pour la *chaux carbonatée*, la seule forme cristalline caractéristique de l'ancienne formation est le rhomboèdre primitif (R). D'ailleurs, dans cette formation, on a le plus généralement un calcaire cristallin massif.

Dans la seconde formation, on trouve plusieurs rhomboèdres aigus et obtus $\left(\frac{1}{2}R; -2R_1\ 4R\right)$, plusieurs scalénoèdres $\left(R^3, R^4, \frac{1}{2}R^{\frac{5}{3}}\right)$, enfin les dérivations oR, ∞R, et ∞R_2. Le plus souvent, plusieurs dérivations sont combinées sur le même cristal. Ainsi, à la mine du Secours, on rencontre R^3, avec $\frac{1}{2}R^{\frac{5}{3}}$; le cristal résultant ressemble au

(*) M. Stalsberg.

rhomboèdre primitif. Les dérivations $0R$ et ∞R se combinent aussi ; le cas est fréquent à la mine du Roi, et rare à la mine du Secours. Quant ∞R est très-court, on a le calcaire lamelleux.

Il arrive que tel cristal est formé d'un noyau bitumineux ancien, enveloppé de calcaire nouveau clair. Ainsi, autour du rhomboèdre primitif bitumineux, se trouve parfois la combinaison déjà signalée de R^3 avec $\frac{1}{2} R^{\frac{5}{3}}$.

Le *quartz* a la forme cristalline ordinaire (∞R, P, $2P_2$) dans l'une et l'autre formation. Mais dans la seconde, il affecte souvent un aspect spécial, est gris, rempli de druses et offre une surface rugueuse, qui, à la loupe, se montre couverte de petits cristaux de quartz ; ce quartz est caractéristique de la seconde formation ; il se rencontre aux mines du Roi, des Pauvres (pas à celle du Secours), sur certaines haldes de l'Unterberg, au Lichtloch n° 9 de Vinoren, etc.

M. Sundt a cherché à déterminer les âges relatifs des minéraux filoniens de Kongsberg. Mais le résultat de ses études a été en partie négatif. Pour la première formation, en effet, il paraît certain qu'il n'y a pas d'ordre fixe dans la série des venues, et que tel minéral est tantôt antérieur, tantôt postérieur à tel autre, suivant les échantillons. Dans le second système de filons, voici la série des venues par ordre d'ancienneté : quartz gris, avec druses et surfaces rugueuses ; — pyrite blanche de fer ; — calcaire lamelleux ; — calcaire sous d'autres formes cristallines (scalénoèdres, etc.) ; — zéolithes. Parfois on trouve un calcaire encore plus récent que les zéolithes. Entre les tables de calcaire lamelleux, il y a souvent de l'argile et du talc.

VI. — CONCLUSION.

Dans son rapport de 1865 à la Chambre des représentants, M. Th. Kjerulf nie formellement l'influence enrichissante des fahlbandes. Il cherche en vain les caractères des couches enrichissantes, qui devraient se distinguer, soit par leur imprégnation en sulfures métalliques, soit par leur composition minéralogique. Ne trouvant pas de relation entre les roches encaissantes et les parties riches des filons, et considérant l'irrégularité de distribution de l'argent dans les fentes, il conclut qu'à l'intérieur d'une zone étendue comme la grande falhlbande, il y avait des chances pour que les filons fussent argentifères, mais sans que les terrains traversés y fussent pour rien.

« Quiconque entend cette proposition, dit-il, qu'il y a des couches enrichissantes où le filon peut être argentifère, et d'autres où il ne l'est jamais, croira naturellement que les premières peuvent se distinguer des secondes. Mais il fait erreur. Aucun caractère ne permet de distinguer les couches enrichissantes des autres. Dans chaque classe, il y a des schistes micacés, amphiboliques, quartzeux, et même du gneiss gris. Dans toute l'étendue des mines du Roi et des Pauvres, aucune roche n'est frappée de stérilité. L'imprégnation n'est pas nécessaire à l'enrichissement. Aucune règle, aucune loi. Le filon peut être argentifère dans une couche quelconque, imprégnée ou non. »

Et ailleurs : « L'enrichissement dans les fahlbandes a été posé en principe par la commission de 1833. D'où une exploitation toute théorique. Se trouvant dans telle partie riche d'un filon, et par suite dans une zone enrichissante, on perçait une galerie en travers pour recouper d'autres

filons dans la même zone; mais souvent celle-ci ne se montrait nullement enrichissante pour les nouveaux filons. Il arrive fréquemment qu'un filon se divisant en deux branches, l'une est riche et l'autre pauvre dans la même couche. »

Cette critique des idées recues à Kongsberg, venant d'un homme de l'autorité de M. Kjerulf, fut très-remarquée. Cependant elle n'a pas jusqu'ici été justifiée par les faits.

C'est à la suite du rapport de la commission de 1865 que furent entrepris les quelques travaux de recherche dans le gneiss gris mentionnés plus haut. On a vu que les filons s'étaient montrés stériles dans le gneiss gris, à quelques mètres des parties les plus riches dans la fahlbande. Aussi l'absence de l'argent dans le gneiss gris, consacrée par une expérience plus de deux fois séculaire, est-elle encore aujourd'hui unanimement admise par les ingénieurs de Kongsberg. Jusqu'à preuve certaine du contraire, le fameux adage, aussi vieux que les mines de Kongsberg, subsiste : « *Uden Gang og Fald, intet Sölv* » ; et le traduisant avec une légère variante, nous dirons à notre tour : « *Sans filon et fahlbande, pas d'argent* (*). »

Pour expliquer la présence de l'argent au croisement des fahlbandes exclusivement, M. Daubrée a émis cette idée que l'argent et les autres substances métalliques contenues dans les filons y avaient été amenées par des émanations latérales suivant la fahlbande même (**). Cette opinion était partagée par Laugberg, un des anciens directeurs de la Monnaie de Kongsberg, qui tirait un argument de la présence des feuilles d'argent interstratifiées dans les roches encaissantes. On peut répondre que l'argent et les sulfures métalliques sont disséminés en très-faible proportion au sein du remplissage filonien et semblent avoir la même pro-

(*) D'après ce que nous avons dit dans le chapitre II de la première partie, il convient de substituer le mot *Fahl* au mot *Fald*.
(**) *Annales des mines*, 4e série, tome IV, p. 257.

venance que les gangues; or ces gangues, calcaire, barytine, spath fluor, ne sauraient provenir de la fahlbande, où l'on n'en trouve pas trace. D'autre part, la fahlbande ne paraît pas argentifère par elle-même, et, aux points où ses pyrites d'imprégnation sont concentrées (comme à la mine de pyrite) et peuvent être analysées, elles présentent une teneur presque nulle en argent.

Les filons de Kongsberg doivent, croyons-nous, leur remplissage intégral à des émanations et à des sources venues d'en bas. Le calcaire a été le véhicule de l'argent, comme le quartz celui de l'or.

Nous avons donc à distinguer dans l'histoire géologique de Kongsberg deux sortes d'émanations. L'éruption du gabbro ouvrit l'ère des émanations de pyrite de fer et autres sulfures métalliques, auxquels sont dues les fahlbandes. Ces émanations pouvaient avoir encore lieu lors des éruptions de la syénite (bien que cette roche ne soit pas imprégnée) (*) et du porphyre noir, et même postérieurement. Mais elles avaient cessé, ou étaient négligeables, lors du soulèvement auquel est dû le premier système de filons. Ce soulèvement inaugura une nouvelle ère d'émanations de calcaire argentifère, avec matières bitumineuses, barytine, spath fluor et certains sulfures métalliques. Le soulèvement du second système fut suivi d'émanations de quartz avec argent aurifère, puis de calcaire lamelleux avec pyrite de fer.

Nous n'avons à considérer ici que les émanations filoniennes.

Tandis que le calcaire, le quartz et autre gangues pierreuses se distribuaient indifféremment sur toute l'étendue des fentes, dans le gneiss gris aussi bien que dans les schistes, nous voyons que l'argent et, dans une certaine

(*) La syénite peut, comme le gneiss gris, s'être opposée à l'imprégnation.

mesure, les sulfures métalliques, ne se sont déposés qu'au croisement des fahlbandes, comme si les parties métalliques des émanations avaient été attirées vers les roches métallifères par composition ou par imprégnation. De même, les filons sont argentifères dans le gabbro et stériles dans le syénite.

L'influence des roches encaissantes sur la distribution du remplissage des filons est un fait établi aujourd'hui.

L'imprégnation préalable des roches encaissantes par des sulfures métalliques est assez rare, mais son influence sur la distribution du remplissage, bien que moins connue, est admissible.

D'après Durocher (*), il serait possible que l'argent ait été apporté par les émanations filoniennes à l'état de chlorure ou de bromure, et que ces corps aient été décomposés par les pyrites des fahlbandes et précipités à l'état d'argent ou de sulfure d'argent (**). Les sulfures métalliques ont également pu produire un effet galvanique, une action de pile, et déterminer un dépôt de l'argent.

Quant à l'irrégularité de distribution de l'argent dans les filons, elle n'infirme pas l'influence enrichissante de la fahlbande. La fahlbande, zone froissée, est formée de couches, non pas régulières et régulièrement imprégnées, comme on l'a longtemps admis, mais ayant une allure des plus variables et étant imprégnées sans loi, comme nous l'avons montré.

Cette irrégularité dans l'allure de la fahlbande et la distribution du remplissage ne doit d'ailleurs pas être exagérée. Nous sommes arrivés dans la mine du Roi à diviser la fahlbande en trois grandes zones distinctes par la nature

---

(*) *Annales des mines*, 4e série, tome XV, p. 366.

(**) Des expériences faites par MM. Durocher et Malaguti montrent la possibilité de cette action chimique.

des roches et l'allure de la fente, et encaissant respectivement des colonnes d'enrichissement et d'appauvrissement des filons.

APPENDICE.

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA NORWÉGE MÉRIDIONALE

PAR

MM. TH. KJERULF ET T. DAHLL.

(Ministère de l'intérieur du gouvernement royal de Norwége.)

Roches stratifiées (*).

	Étages ou assises.	
Conglomérat, grès, schistes argileux rouges.	9.	Supposés dévoniens, jusqu'à présent sans fossile.
Calcaire à Orthoceras cochleatum, schistes marneux, schistes à graptolites supérieurs.	8.	Siluriens supérieurs.
Calcaire à coraux, calcaire et schiste à pentamère. .	7, 6.	
Calcaires sablonneux et schistes.	5.	Siluriens inférieurs.
Calcaire à Chasmops et schistes marneux.	4.	
Schistes à graptolites inférieurs, calcaire à Orthoceras vaginatum.	3.	
Terrain schisteux de Trondhjem renfermant surtout des schistes micacés, talqueux et chloriteux, argileux. . . . . Quelques couches de calcaire ou de dolomie.	»	Avec quelques fossiles siluriens.
Quartzites et schistes des Hautes-Montagnes; quartzites, schistes quartzifères, schistes amphiboliques.	2.	Supposés taconiques supérieurs.
Schistes argileux à Dictyonema, calcaire à Olenus, phyllade et divers schistes cristallins. . . . . . . , Quelques couches de calcaire ou de dolomie.	2.	Taconiques supérieurs.
Terrain sparagmitique renfermant surtout : sparagmite rouge et gris, grès à base de kaolin, poudingues, schistes argileux rouges et gris, quartzite bleu, schistes quartzeux talcifères. . . . . Quelques couches de dolomie ou de calcaire.	1.	Taconique inférieur, jusqu'à présent sans fossile.
La roche fondamentale, surtout quartzites, schistes quartzeux, micaschistes, schistes amphibolitiques, gneiss à nodules de feldspath, gneiss gris. Quelques couches intercalées de calcaire cristallin, de dolomie et de pierre ollaire.		Supposée azoïque, jusqu'à présent sans trace de fossile.

(*) Une échelle des terrains stratifiés de la Norwége méridionale a déjà été donnée par MM. Delesse et de Lapparent, dans la *Revue de géologie* pour les années 1866 et 1867, tome VI, page 269.

Roches éruptives.

Porphyres : p. feldspathique, p. quartzifère, p. pyroxénique, p. à ouralite avec des parties brecciolaires et amygdaloïdes.	Postdévoniens.
Granite et syénite postérieurs.	Postdévoniens.
Gabbro, gabbro quasi-feuilleté, roche à labradorite (norite).	Posttaconiques ou postsiluriens.
Serpentine avec brèches serpentineuses.	Posttaconique.
Granite et syénite d'un âge moyen. . . . . Grunstein. . . . . } des hautes montagnes et des montagnes frontières.	Posttaconiques.
Granite à amphibole de Farsund. . . . . Granitelle à fer oxydulé de Tvedestrand.	D'un âge jusqu'à présent non déterminé
Granites d'âge moyen de Vigelen et de Dovre.	Posttaconiques.
Granite et granite quasi-feuilleté, antérieur ou ancien. . .	Antétaconique.

TABLE DES MATIÈRES.

DE LA CONDENSATION DE LA VAPEUR

A L'INTÉRIEUR DES CYLINDRES DES MACHINES

Par M. Ch. LEDOUX, ingénieur des mines.

CHAPITRE I.

1. Lorsque l'on veut comparer entre eux, au point de vue de la consommation du combustible, les résultats économiques fournis par des machines à vapeur de différents systèmes, on est amené à chercher la dépense de vapeur correspondant à un certain travail. En effet, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire la chaudière et le mode de chauffage étant les mêmes, la consommation de charbon par cheval et par heure sera proportionnelle à la dépense de vapeur employée pour produire ce travail d'un cheval.

Si les cylindres des machines constituaient une enveloppe imperméable à la chaleur, la dépense de vapeur par coup de piston serait immédiatement donnée par le volume décrit par le piston pendant la période d'introduction multiplié par la densité correspondant à la pression d'admission. Mais on s'exposerait à de graves erreurs, si l'on supposait que le poids de vapeur réellement fourni par la chaudière fût égal au poids ainsi calculé, à ce qu'on a nommé le poids de *vapeur sensible*.

2. Examinons en effet les phénomènes qui se produisent à l'intérieur d'un cylindre de machine.

Au moment où commence la période d'admission, la vapeur pénètre au-dessous de la glace du tiroir, et rencontre les parois métalliques qui ont été refroidies pendant

l'échappement, puisqu'elles ont été mises pendant cette dernière période en communication avec un milieu ayant une température inférieure à celle de la vapeur d'admission. Une proportion plus ou moins grande de vapeur se condense et cède sa chaleur à une pellicule plus ou moins épaisse des parois métalliques. La détente commençant, la pression et par suite la température de la vapeur ambiante diminuent et une certaine portion de l'eau condensée s'évapore ; la chaleur ainsi enlevée à la partie précédemment réchauffée des parois et à la vapeur condensée est employée : 1° à réchauffer les parois nouvellement découvertes ; 2° à augmenter la pression de la vapeur ambiante, de manière que la courbe des pressions correspondant aux divers volumes, autrement dit la courbe du diagramme tracée par le crayon de l'indicateur, sera située par rapport à l'axe des x au-dessus de la courbe adiabatique qui résulterait de la détente, sans addition ni soustraction de chaleur, du poids de vapeur sensible et d'eau fourni par la chaudière pendant l'admission.

A la fin de la détente nous avons donc un poids de vapeur Mx_1 plus grand que celui qui correspondrait au poids Mx_0 de vapeur sensible détendue suivant la courbe adiabatique correspondant à la pression et au volume initiaux. La pellicule très-mince des parois, sensible aux variations de la chaleur intérieure, sera ramenée à la température T_1 correspondant à la pression P_1 de la fin de la détente, et il restera sur les parois une certaine quantité d'eau à l'état liquide, qui sera la différence entre le poids total de vapeur et d'eau M fourni par la chaudière et le poids Mx_1.

L'échappement s'ouvrant, la température du milieu gazeux s'abaisse brusquement, une partie de l'eau déposée $M(1 - x_1)$ s'évapore en enlevant de la chaleur à la pellicule métallique qui se trouvait à la température T_1, et la

ramène à la température T_2 correspondant à la pression d'échappement P_2 (*).

3. Ainsi la chaleur cédée aux parois par la portion de la vapeur d'admission qui se condense, se divise en deux parties.

1° La chaleur employée à vaporiser pendant la détente une partie de l'eau mélangée à la vapeur et à augmenter la chaleur interne de cette dernière ; cette portion de chaleur est par conséquent utilisée en travail tant interne qu'externe.

2° La chaleur qui correspond à la vaporisation pendant l'échappement d'une portion de l'eau qui subsiste sur les parois après la détente : elle est entièrement perdue pour le travail.

On voit immédiatement que si l'on pousse la détente jusqu'à ce que la pression à la fin de la course soit égale à celle de l'échappement, la perte à l'échappement est nulle puisque toute la chaleur primitivement cédée aux parois par la condensation d'une partie de la vapeur d'admission, moins la partie qui a été utilisée en travail externe, se retrouve à la fin de la course dans la vapeur sensible existant dans le cylindre.

Au contraire, toutes choses étant égales d'ailleurs, cette perte sera maximum s'il n'y a pas de détente. Dans ce cas, toute la chaleur provenant de la condensation de la vapeur pendant l'admission est perdue à l'échappement.

4. Les divers phénomènes que nous venons d'exposer

(*) L'analyse des phénomènes qui se passent à l'intérieur des cylindres a été faite pour la première fois par M. Combes, en 1865 (*Traité de l'exploitation des mines*, t. III). Elle a été reprise depuis par M. Hirn et a servi de base aux intéressants travaux publiés par M. Hallauer dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* (août et septembre 1875). Enfin M. Couche l'a exposée récemment dans le tome III de son *Traité des chemins de fer*.

peuvent être rendus sensibles par une représentation graphique.

Soient OP_0, OP_1, OP_2 (*fig.* 14, Pl. XI), des longueurs proportionnelles aux pressions de l'admission, de la fin de la détente et de l'échappement; OV_0, OW_0, des longueurs proportionnelles au volume V_0 de vapeur sensible et au volume W_0 qu'occuperait pendant l'admission le poids de vapeur MX fourni par la chaudière, s'il n'y avait pas de condensation intérieure.

Si les parois du cylindre étaient imperméables à la chaleur, la détente de chacun des deux mélanges d'eau et de vapeur $M(1-x_0)$ et Mx_0 d'une part, $M(1-X)$ et MX d'autre part, se ferait suivant les deux courbes adiabatiques AB'_1, $A''B''_1$. Mais comme il y a condensation et qu'une partie de la chaleur cédée aux parois pendant l'admission est récupérée par le mélange de vapeur et d'eau pendant la détente, la courbe réelle des pressions pendant cette période sera la courbe AB_1, intermédiaire entre les deux courbes AB'_1 et $A''B''_1$. La portion de chaleur récupérée et transformée en travail externe est représentée par la surface du polygone curviligne $AB_1V_1V'_1B'_1$ multipliée par A (A étant l'inverse de l'équivalent mécanique de la chaleur, 425). La quantité totale de chaleur récupérée sera égale à A $\times$ surface $AB_1V_1V'_1B'_1$ plus la différence des chaleurs internes des mélanges d'eau et de vapeur dont les volumes sont respectivement OV_1 et OV'_1. La quantité de chaleur utilisable en travail et perdue par le fait de la condensation intérieure est égale à surface du polygone curviligne $AB_1V_1W_1B''_1A''$ multipliée par le même nombre A.

Enfin la perte à l'échappement est égale à A $\times$ surface $AB_1V_1W_1B''_1A''$, plus la différence des chaleurs internes des deux mélanges de vapeur et d'eau dont les volumes sont respectivement OW_1 et OV_1.

Si l'on suppose que la détente soit prolongée jusqu'à ce que la pression finale soit égale à la contre-pression, les

courbes AB'_1, AB_1, $A''B_1''$ se prolongent jusqu'en B'_2, B_2 et B''_2. Dans ce cas, la perte à l'échappement est nulle et la chaleur totale de condensation est représentée par l'équivalent thermique de la surface $AB_2V_2V'_2B'_2$, plus la différence des chaleurs internes des mélanges gazeux occupant les volumes OV_2 et OV'_2.

Il y a encore une perte notable de travail externe représentée par la différence entre la surface du triangle curviligne XAA'' et la surface $XB_2V_2W_2B_2''$. L'équivalent thermique de cette surface est précisément égal à la différence des chaleurs internes correspondant aux volumes OV_2 et OW_2. A cause de la contre-pression, la perte réelle de travail moteur *disponible* est représentée simplement par la différence des triangles curvilignes XAA'' et XB_2B_2''.

Quand la pression finale de la détente est P_1, la perte de travail moteur externe provenant de la perte à l'échappement est représentée par la surface $AA''B''_1W_1V_1B_1$, et le gain de travail externe provenant de la chaleur récupérée pendant la détente est représenté par la surface $AB_1V_1V'_1B'_1$.

On remarquera que la perte à l'échappement est représentée, soit par l'équivalent thermique de la surface $AA''B''_1W_1V_1B_1$, augmenté de la différence des chaleurs internes correspondant aux volumes OW_1 et OV_1, soit par l'équivalent thermique de la surface $B_1V_1V_2B_2$ augmenté de la différence des chaleurs internes correspondant aux volumes OV_2 et OV_1, soit enfin par l'équivalent thermique de la différence des surfaces $B_1V_1V_2B_2$ et $B'V'_1V'_2B'_2$, plus la différence des chaleurs internes des mélanges gazeux occupant les volumes OV_2 et OV_1, moins la différence des chaleurs internes des mélanges occupant les volumes OV'_2 et OV'_1.

5. On voit par l'analyse qui précède que la quantité de vapeur fournie par la chaudière à chaque coup de piston doit différer notablement du poids de vapeur sensible;

c'est en effet ce que confirme la pratique. Dans des machines à grande détente actionnées par de la vapeur entraînant 4 ou 5 p. 100 d'eau, le poids de vapeur fourni MX est de 2 fois à 2 fois $\frac{1}{2}$ le poids de vapeur sensible Mx_0.

Nous citerons comme exemple une machine Corliss à grande détente, sans enveloppe de vapeur, étudiée par M. Hallauer (*Bulletin de la Société de Mulhouse* déjà cité):

Poids de vapeur et d'eau introduit par coup de piston.	$0^k,1172$
Poids d'eau entraînée.	$0^k,0050$
Poids de la vapeur introduite.	$0^k,1022$
Poids de vapeur sensible.	$0^k,0423$
Poids de vapeur condensée.	$0^k,0599$
Proportion de vapeur condensée.	58,6 %
Perte à l'échappement.	$19^c,67$
Consommation de vapeur par cheval absolu et par heure.	$10^k,57$

CHAPITRE II.

6. La condensation intérieure ayant pour résultat une perte considérable du travail disponible, il est évident qu'il y a un grand intérêt à la diminuer autant que possible.

On connaît deux procédés pour atteindre ce but.

Les chemises de vapeur, qui sont employées depuis bien longtemps, sans qu'on se soit toujours bien rendu compte de leur mode d'action, ont précisément pour résultat de diminuer dans une forte proportion la condensation intérieure. En réchauffant les parois extérieures du cylindre, elles diminuent l'épaisseur de la couche métallique sensible, et par suite la quantité de vapeur nécessaire pour la porter de la température de l'échappement à celle de l'admission. De plus, elles fournissent de la chaleur au mélange de vapeur et d'eau pendant la détente et relèvent la courbe AB_1B_2, de sorte que pour une même pres-

sion finale de la détente, la perte à l'échappement est plus faible.

L'efficacité des chemises de vapeur, qu'on a niée parce qu'on ne tenait pas compte de l'importance des effets de la condensation intérieure, a été mise hors de doute par les expériences exécutées par M. Hallauer, sous la direction de M. Hirn. Cet ingénieur a pu étudier deux machines Corliss de mêmes dimensions fonctionnant dans les mêmes conditions, et dont l'une seulement était pourvue d'une enveloppe de vapeur.

Les résultats qu'il a obtenus avec la machine non pourvue d'une chemise de vapeur sont consignés pages 5 et 6.

La machine munie d'une enveloppe a donné :

Quantité de vapeur et d'eau fournie par coup de piston.	$0^k,1253$
Poids d'eau entraînée, 5 pour 100.	$0^k,0063$
Poids de vapeur condensée dans l'enveloppe.	$0^k,0048$
Poids de la vapeur introduite.	$0^k,1142$
Poids de vapeur sensible au commencement de la course.	$0^k,0645$
Poids de vapeur condensée dans le cylindre.	$0^k,0497$
Proportion de vapeur condensée.	43,52 %
Perte à l'échappement.	$3^c,71$
Consommation de vapeur par cheval absolu et par heure.	$8^k,06$

Ainsi, dans la seconde machine, la proportion de vapeur condensée pendant l'admission est de 43,52 p. 100 du poids de la vâpeur introduite, au lieu de 58,6 p. 100 dans la machine sans enveloppe et la consommation de vapeur par cheval et par heure de $8^k,06$, au lieu de $10^k,57$ dans la première. L'économie de vapeur et par suite de combustible est donc de près de 24 p. 100.

7. Un autre moyen indirect de diminuer les condensations intérieures est l'emploi de deux cylindres conjugués de dimensions différentes (système Woolf ou Compound). Le petit cylindre de ces machines, dans lequel se fait l'admission, n'est jamais en communication avec le conden-

seur. Par suite, la température des parois métalliques ne s'abaisse jamais au-dessous de celle qui correspond à la pression finale de la détente; il y a donc de ce chef une diminution notable dans le refroidissement subi par la vapeur d'admission à son arrivée dans le cylindre. En outre pendant la période de détente de la vapeur passant du petit dans le grand cylindre (période qui correspondrait à la période d'échappement si le cylindre était seul), la température des parois du petit cylindre ne passe que successivement de la température initiale du grand cylindre à la température finale; le refroidissement de la vapeur d'admission qui agit de l'autre côté du piston est donc moindre, puisqu'elle rencontre des parois qui, au lieu d'être tout entières à la température d'échappement, sont à des températures intermédiaires entre la température initiale de détente et la température finale, et n'atteignent cette dernière que tout à fait à la fin de la course.

8. Enfin nous devons signaler un moyen direct ou plutôt un ensemble de moyens proposés récemment par M. Lissignol pour combattre les condensations intérieures et qui paraissent devoir donner de bons résultats.

Si l'on suppose que le temps pendant lequel agissent les deux influences opposées du refroidissement et du réchauffement soit le même pour divers cylindres identiques, faisant le même nombre de tours par minute et fonctionnant dans les mêmes conditions de température, mais composés chacun d'un métal différent, M. Lissignol admet (*) que l'épaisseur de ce qu'il appelle la *couche active* ou couche sensible devra varier dans le même sens que la conductibilité intérieure du corps composant les parois du cylin-

(*) Note sommaire sur l'application de la théorie mécanique de la chaleur au perfectionnement des machines à vapeur, par E. Lissignol, mars 1876. Bruxelles.

dre, conductibilité qui détermine la profondeur sur laquelle pénètre le changement de température. La condensation par refroidissement intérieur des parois dans chacun des cylindres précédents serait alors exactement proportionnelle à la quantité de chaleur que la couche active pourrait absorber, puis restituer pendant les périodes respectives d'échauffement et de refroidissement d'une révolution.

Or pour la même différence de température sur les deux faces concentriques limitant chaque couche active, cette quantité de chaleur est proportionnelle au poids de la couche correspondante multipliée par sa capacité calorifique C. Le poids de la couche est égal à sa surface S multipliée par son épaisseur ε et sa densité δ. L'auteur admet que les épaisseurs des diverses couches actives sont respectivement proportionnelles aux racines carrées des coefficients de conductibilité intérieure K des métaux dont ces couches sont formées. Comme tous les cylindres sont identiques, la surface S sera la même pour tous. Le produit $C\delta\sqrt{K}$ sera donc proportionnel à la quantité de chaleur absorbée puis restituée par une couche active pendant une révolution, et par suite proportionnel à la quantité d'eau condensée par le refroidissement de cette couche à chaque révolution. Ce produit $C\delta\sqrt{K}$ est appelé coefficient d'absorption.

M. Lissignol admet que la condensation totale par refroidissement intérieur dans un cylindre est approximativement proportionnelle :

1° Au temps;

2° A la fraction de la course qui représente la période d'évacuation ;

3° A la chute de la température dans le cylindre ;

4° A la surface intérieure totale exposée à l'action de ces températures extrêmes ;

5° Enfin au coefficient d'absorption du corps composant cette dernière surface.

Il recommande en conséquence d'augmenter, autant que le comporte la résistance des pièces, la vitesse des pistons;

De diminuer la longueur de la période d'échappement, dans une forte proportion en augmentant la longueur de la période de compression;

D'employer des machines à deux et même trois cylindres avec détente successive de la vapeur dans chacun d'eux;

Enfin il propose de garnir les fonds du cylindre et les faces du piston d'une mince couche de plomb de 3 millimètres d'épaisseur pour diminuer le coefficient d'apsorption.

Les coefficients d'absorption des trois corps: fonte, plomb, porcelaine, étant donnés par le tableau suivant:

	COEFFICIENT de conductibilité intérieure K	$\sqrt{K}$	CAPACITÉ calorifique c	DENSITÉ δ	COEFFICIENT d'absorption $c\delta\sqrt{K}$
Fonte.......	561,5	23,7	0,130	7,29	22,46
Plomb.......	179,5	13,4	0,032	11,35	4,86
Porcelaine....	12,2	3,5	0,200	2,20	1,54

il admet que si l'on recouvre de plomb ou de porcelaine la totalité, la moitié ou les deux tiers de la surface de la couche active d'un cylindre, les condensations intérieures seront réduites proportionnellement comme l'indique le tableau suivant, dans lequel la condensation sur la couche active du cylindre en fonte non recouvert est prise pour unité:

	CONDENSATIONS TOTALES par refroidissement intérieur en recouvrant		
	la totalité des surfaces.	les deux tiers des surfaces intérieures.	la moitié des surfaces intérieures
Surface de fonte non recouverte.	1,000	1,000	1,000
Couverture en plomb.......	0,216	0,477	0,608
Couverture en porcelaine.....	0,070	0,380	0,555

Des expériences faites sur la machine à deux cylindres du steamer belge *Baron Lambermont*, l'une en 1875 sur la machine sans modification, l'autre en 1876 sur la machine pourvue des perfectionnements indiqués ci-dessus, auraient, d'après la note citée, donné des résultats très-favorables à ces derniers, puisque la consommation de charbon par cheval indiqué serait descendue de $2^k,017$ à $1^k,286$.

Nous n'avons pas les éléments nécessaires pour contrôler ces résultats et pour déterminer dans quelle mesure les améliorations apportées à la distribution et à la mise en bon état des pièces de la machine pendant la réparation qui a eu lieu entre les deux expériences, ont contribué à l'économie signalée.

Il paraît probable que la couverture des fonds du cylindre et des faces du piston par une substance peu conductrice diminue la condensation intérieure et le procédé très-simple indiqué est facile à essayer. Mais de nouvelles expériences seraient nécessaires pour déterminer avec précision l'influence qu'il peut avoir sur la diminution des condensations.

Quant aux *lois* de la condensation intérieure énoncées par l'auteur de la note, elles ne sont pas établies sur des raisonnements rigoureux, mais sur de simples aperçus; on ne doit donc les considérer que comme indiquant simplement la marche des phénomènes très-complexes de la condensation et non leur mesure précise. Nous avons constaté d'ailleurs pour un certain nombre de machines dont nous connaissions la marche, que ces lois sont loin de se vérifier.

Pour les établir avec quelque approximation, il serait nécessaire de comparer entre elles les condensations intérieures qui se produisent soit dans une seule machine à des marches différentes, soit dans plusieurs machines fonctionnant avec la même marche.

La première condition pour atteindre ce but est de pouvoir mesurer la condensation intérieure qui se produit dans une machine pour une marche déterminée.

C'est la question que nous allons maintenant traiter.

CHAPITRE III.

DE LA MESURE DE LA CONDENSATION INTÉRIEURE.

---

9. Nous adopterons pour les calculs qui vont suivre les notations employées par M. Zeuner dans sa *Théorie mécanique de la chaleur.*

Soient :

M la masse de vapeur et d'eau fournie à chaque coup de piston par la chaudière ;

MX le poids de vapeur et M (1 — X) le poids d'eau que contient cette masse M ;

v le volume de l'espace nuisible ;

V le volume occupé par la vapeur à un instant quelconque de la course ;

x la proportion de vapeur à ce même moment de la course ;

t, T et P la température comptée à partir de 0°, la température absolue et la pression correspondantes ;

λ la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 0° à t^0 et pour vaporiser 1 kilogramme d'eau ;

q la quantité de chaleur nécessaire pour porter 1 kilogramme d'eau de 0° à t^0 ;

c la chaleur spécifique de l'eau ;

$r = \lambda - q$ la chaleur latente d'évaporation de l'eau ;

u l'accroissement de volume éprouvé par 1 kilogramme d'eau se vaporisant à la pression P ;

$\gamma = \frac{1}{u + 0,001}$ la densité de la vapeur saturée à la pression P;

A l'inverse de l'équivalent mécanique de la chaleur $A = \frac{1}{425}$;

$\rho = r - Apu$ la chaleur latente interne de la vapeur;

$\mathfrak{T}$ le travail de la détente correspondant à une course donnée du piston;

Q la quantité de chaleur cédée à la vapeur par les parois depuis le commencement de la détente jusqu'au point de la course considéré;

Q' la perte à l'échappement correspondante.

Affectons des indices 0, 1, et 2 les notations se rapportant à la fin des périodes d'admission, de détente et d'échappement.

Enfin désignons par R le refroissement extérieur dû au contact de l'air et au rayonnement des parois extérieures du cylindre.

On sait que la chaleur interne U d'un mélange composé d'un poids $M(1-x)$ d'eau et d'un poids Mx de vapeur est égal à

$$M(1-x)q + Mx(\rho + q), \text{ ou à } Mq + Mx\rho.$$

Au commencement de la période de détente, la chaleur interne du mélange $(M1 - x_0)$ et Mx_0 d'eau et de vapeur est:

$$U = M(q_0 + x_0\rho_0).$$

A un point quelconque de la course, la chaleur interne du mélange sera:

$$U = M(q + x\rho).$$

D'après le principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur, la différence entre les chaleurs internes, augmentée de l'équivalent thermique du travail extérieur $\mathfrak{T}$ accompli pendant le même temps, sera égale à

la chaleur fournie extérieurement au mélange, c'est-à-dire que l'on aura :

$$Q = U - U_0 + A\varpi,$$

ou

$$Q = M[q - q_0 + x\rho - x_0\rho_0] + A\varpi, \qquad (1)$$

et pour la fin de la détente :

$$M[q_0 - q_1 + x_0\rho_0 - x_1\rho_1] + Q_1 = A\varpi_1. \qquad (2)$$

x_0 et x_1 sont donnés par les relations

$$Mx_0 = V_0\gamma_0$$

et

$$Mx_1 = V_1\gamma_1.$$

L'équation (2) permettra de trouver Q_1 quand on connaîtra M, puisque le diagramme relevé à l'indicateur donne la quantité ϖ_1 et les pressions initiale et finale P_0 et P_1, d'où il est facile de déduire au moyen des tables les densités et les chaleurs internes correspondantes. Remarquons que les quantités ϖ, q, γ, ρ et Q étant fonctions de la pression P, l'équation (1) représente la courbe AB de la *fig.* 14 (Pl. XI).

S'il n'y avait pas de chaleur fournie par les parois pendant la détente, la courbe des pressions AB'_1 serait représentée par l'équation

$$M(q_0 - q + x_0\rho_0 - x'\rho) - R = A\varpi', \qquad (3)$$

et le poids final de vapeur Mx'_1 serait donné par l'équation

$$M(q_0 - q_1 + x_0\rho_0 - x'_1\rho_1) - R = A\varpi'_1. \qquad (4)$$

La quantité totale de chaleur $Q_1 + R$ fournie par les parois pendant la détente, tant au mélange de vapeur et d'eau qu'au refroidissement extérieur, est donc, comme nous l'avons dit au § 4 :

$$Q_1 + R = A\varpi_1 - A\varpi'_1 + Mx_1\rho_1 - M'x'_1\rho_1. \qquad (5)$$

10. Appelons W_0 le volume qu'occuperait dans le cylindre à la pression P_0 le poids de vapeur MX, s'il n'y avait pas de condensation, MX' le poids de vapeur contenu dans ce mélange quand la pression sera devenue égale à P, si ce poids de vapeur et d'eau M se détendait sans addition de chaleur et sans autre soustraction de chaleur que celle qui provient du refroidissement.

La courbe $A''B''_1$ sera représentée par l'équation

$$M(q_0 - q_1 + X_0\rho_0 - X'\rho) - R = A\mathfrak{S}'', \tag{6}$$

et le poids de vapeur MX'_1 à la fin de la détente, sera donné par l'équation

$$M(q_0 - q_1 + X\rho_0 - X'_1\rho_1) - R = A\mathfrak{S}''_1. \tag{7}$$

Retranchant membre à membre les équations (2) et (7), on a :

$$-Q_1 - R = A\mathfrak{S}''_1 - A\mathfrak{S}_1 + M(X'_1\rho_1 - x_1\rho_1) - M(X - x_0)\rho_0.$$

Remplaçant ρ_0 par sa valeur $r_0 - A_0Pu_0$ et remarquant que

$$M(X - x_0)u_0 = (W_0 - V_0) - 0{,}001\, M(X - x_0),$$

on a :

$$-Q_1 - R = -M(X - x_0)r_0 - 0{,}001\, AP_0M(X - x_0) + AP_0W_0$$
$$+ A\mathfrak{S}''_1 - AP_0V_0 - A\mathfrak{S}_1 + M(X'_1\rho_1 - x_1\rho_1).$$

0,001 AP_0 étant très-petit par rapport à r_0, nous pouvons négliger le second terme du second membre, et nous aurons :

$$M(X - x_0)r_0 - Q_1 - R = AP_0W_0 + A\mathfrak{S}''_1 - AP_0V_0 - A\mathfrak{S}_1$$
$$+ MX'_1\rho_1 - Mx_1\rho_1.$$

Le second membre de l'équation est égal à la différence des équivalents thermiques des surfaces $P_0A''B''_1W_1O$ et $P_0AB_1V_1O$ augmenté de la différence des chaleurs internes

des mélanges de vapeur et d'eau occupant les volumes W_1 et V_1 à la pression P_1 ; c'est précisément ce que nous avons nommé la perte à l'échappement Q'_1, au § 4.

On a donc finalement :

$$M(X - x_0)r_0 = Q_1 + Q'_1 + R, \qquad (8)$$

équation qui a été donnée par M. Hallauer (*Bulletin* déjà cité).

$M(X - x_0)$, c'est le poids de la vapeur qui s'est condensée pendant l'admission et $M(X - x_0)r_0$ est la chaleur abandonnée par cette vapeur aux parois en se condensant.

L'équation exprime donc simplement que la chaleur cédée aux parois par la condensation de la vapeur pendant l'admission est égale à la chaleur récupérée pendant la détente, augmentée de la perte à l'échappement et du refroidissement extérieur. On aurait pu l'écrire immédiatement sous cette forme ; mais il nous a paru préférable de passer par ces transformations successives pour montrer l'accord des formules avec la représentation graphique donnée au § 4, ainsi que la signification réelle de ces diverses équations.

11. On peut trouver une autre expression de la chaleur cédée aux parois par la condensation $M(X - x_0)r_0$.

Supposons que le refroidissement R ait lieu proportionnellement à la chute de température et posons $dR = -R'cdt$, c étant la chaleur spécifique de l'eau supposée constante, R' une quantité constante.

Différentiant les deux membres de l'équation (5), nous aurons :

$$(M - R')cdt = -Md(x\rho) - APdv.$$

Or

$$x\rho = xr - APxu,$$

$$d(x\rho) = d(xr) - APdxu - AxudP$$

et

$$dv = Mdxu.$$

Il vient : $(M - R')cdt = - Mdxr + AMxudP.$

On sait que $$Axu\frac{dP}{dt} = \frac{xr}{T};$$

on a donc, en intégrant entre les limites t_0 et t_1,

$$(M - R')\int_{t_1}^{t_0}\frac{cdt}{T} = M\left(\frac{x'_1 r_1}{T_1} - \frac{x_0 r_0}{T_0}\right). \qquad (9$$

L'équation (7) devient de même

$$(M - R')\int_{t_1}^{t_0}\frac{cdt}{T} = M\left(\frac{X'_1 r_1}{T_1} - \frac{X r_0}{T_0}\right). \qquad (10)$$

Retranchant membre à membre, on a :

$$M(X - x_0)\frac{r_0}{T_0} = M(X'_1 - x'_1)\frac{r_1}{T_1}.$$

En vertu de la relation $Mx\frac{r}{T} = AV\frac{dP}{dt}$, cette équation peut s'écrire :

$$M(X - x_0)\frac{r_0}{T_0} = A(W_1 - V'_1)\frac{dP}{dt},$$

ou en intégrant entre les limites T_0 et T_1 :

$$M(X - x_0)r_0 = A \times \text{surf. } AB'_1B''_1A'' \times \frac{T_0}{T_0 - T_1}. \qquad (11)$$

Si l'on pousse la détente jusqu'à ce que la pression finale soit égale à la contre-pression, la surface comprise entre les deux courbes adiabatiques $AB'_1B'_2$ et $A''B''_1B''_2$, représentées par les équations (9) et (10), devient $AB'_2B''_2A''$; elle représente la différence entre le travail moteur *disponible* du mélange $M(1 - X)$ d'eau et MX de vapeur et le travail *disponible* du mélange $M(1 - x_0)$ d'eau et Mx_0 de vapeur.

L'équation (11), mise sous la forme

$$\text{surf. } AB'_2B''_2A'' = \frac{1}{A}M(X - x_0)\frac{r_0}{T_0}(T_0 - T_1)$$

conduit à cette conséquence intéressante, que nous signalons bien qu'elle soit étrangère au sujet spécial qui nous occupe : que, entre deux limites de température déterminées, *l'augmentation du travail moteur disponible, résultant de l'augmentation de la proportion initiale de vapeur dans un poids donné d'un mélange d'eau et de vapeur, est proportionnelle : 1° à la différence des proportions initiales de vapeur; 2° à la chute de température entre le commencement et la fin de la détente.*

12. Si la détente était poussée jusqu'à ce que la presfinale devînt égale à la contre-pression, on aurait :

$$Q_2 = Q_1 + Q'_1 = A\varpi_2 - M(q_0 - q_2 + x_0\rho_0 - x_2\rho_2),$$

et comme

$$Q_1 = A\varpi_1 - M(q_0 - q_1 + x_0\rho_0 - x_1\rho_1),$$

la perte à l'échappement

$$Q'_1 = A(\varpi_2 - \varpi_1) - M(q_1 - q_2 + x_1\rho_1 - x_2\rho_2).$$

D'ailleurs, en vertu de l'équation (3),

$$M(q_1 - q_2) = A(\varpi'_2 - \varpi'_1) - M(x'_1\rho_1 + x'_2\rho_2),$$

on a une troisième expression de la perte à l'échappement,

$$Q'_1 = A(\varpi'_2 - \varpi'_1) - A(\varpi'_2 - \varpi'_1) + [(x_2 - x'_2)\rho_2 - (x_1 - x'_1)\rho_1]M,$$

résultats déjà indiqués au § 4.

13. Les équations (2) et (8) permettent de déterminer Q_1 et Q'_1, quand on connaît les quantités M, X, R, q_0, q_1, x_0, r_0, ρ_0, x_1 et ρ_1. Les sept dernières quantités se déduisent des dimensions de la machine et de l'examen du diagramme, qui donnent la valeur de P_0, de P_1, de V_0 et de V_1.

La quantité R, qui est très-petite dans un cylindre convenablement garni de matières peu conductrices, se calcule

approximativement au moyen des formules empiriques, qui donnent le refroidissement dû au rayonnement et celui qui est dû au contact de l'air.

La quantité M est fournie par l'observation directe, au moyen du jaugeage de l'eau d'alimentation.

Il n'en est pas de même de la quantité X dont la détermination présente de grandes difficultés et est même souvent impossible. La seule méthode connue jusqu'ici est la méthode calorimétrique indiquée par M. Hirn (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* d'octobre 1869). Elle consiste à envoyer la vapeur dont on veut mesurer l'humidité dans une masse d'eau froide N, dont on connaît la température initiale t_1. Comme il ne se produit dans ce cas aucun travail extérieur, on a, en appelant t_0 la température initiale de la vapeur, t_2 la température finale du mélange de cette eau et de l'eau condensée,

$$MX(606,5 + 0,305\,t_0 - t_2) + (1 - X)\,M(q_0 - q_2) = N(q_2 - q_1).$$

On mesure exactement t_0, t_1, t_2 ; on pèse le mélange final M + N, et l'on a ainsi une relation qui permet de déterminer X.

S'il s'agit d'une machine à condensation, on peut opérer directement sur la machine elle-même en marche, en mesurant la quantité d'eau d'alimentation, la quantité et la température de l'eau envoyée au condenseur. Mais comme dans ce cas il y a eu de la chaleur employée à produire un travail externe F, que donne le diagramme de l'indicateur, l'équation précédente devient :

$$MX(606,5+0,305t_0-t_2)+(1-X)M(q_0-q_2)=AF+N(q_2-q_1).$$

L'emploi de cette méthode a donné des résultats très-précis entre les mains d'habiles expérimentateurs tels que MM. Hirn, Leloutre et Hallauer, dont les beaux travaux sur ce sujet ont été insérés dans le *Bulletin de la Société in-*

dustrielle de Mulhouse. Mais elle exige beaucoup de temps ainsi que des dispositions et des appareils spéciaux qu'il n'est pas toujours possible d'organiser ou de se procurer, notamment sur les locomotives.

La détermination de la quantité d'eau entraînée présente une réelle importance puisqu'elle est nécessaire pour la mesure de la condensation intérieure et de la répartition des calories utilisées ou perdues pendant la détente et pendant l'échappement.

Il y a donc intérêt à trouver une autre méthode plus expéditive et moins compliquée que celle de M. Hirn, et, de plus, applicable à toutes les machines à détente. Nous pensons que le diagramme de l'indicateur, convenablement interprété, peut dans la plupart des cas fournir la solution du problème.

14. On a vu ci-dessus que dans le cas où la détente est poussée assez loin pour que la pression finale soit égale à la pression d'échappement, toute la chaleur cédée aux parois par la condensation pendant l'admission est restituée au mélange de vapeur et d'eau pendant la détente sous forme de travail externe ou de chaleur interne.

Les équations (2) et (8) deviennent alors :

$$Q_2 = A\mathfrak{T}_2 - M(q_0 - q_2 + x_0\rho_0 - x_2\rho_2),$$

et

$$M(X - x_0)r_0 = Q_2 + R,$$

d'où

$$M(X - x_0)r_0 - R = A\mathfrak{T}_2 - M(q_0 - q_2 + x_0\rho_0 - x_2\rho_2). \quad (12)$$

L'équation (12) ne renferme qu'une seule inconnue X, toutes les autres quantités étant données, soit par la mesure directe de la quantité d'eau fournie à l'alimentation, soit par le diagramme, les tables de Zeuner et la connaissance des dimensions de la machine, soit (pour R), par un calcul approximatif.

Elle permet donc de calculer, soit la quantité X, soit la

quantité M $(X - x_0)$, qui n'est autre chose que le poids de vapeur condensée pendant l'admission.

L'erreur que l'on peut commettre dans le calcul de R n'a pas une grande importance, parce que cette quantité est toujours très-petite, et qu'elle est divisée par le nombre r_0 qui est relativement très-grand,

Ainsi, lorsqu'on peut réaliser en pratique cette condition de pousser assez loin la détente pour que la pression finale devienne égale à la contre-pression, la mesure de la quantité d'eau fournie à l'alimentation et la levée d'un diagramme exact permettront de déterminer rapidement par un calcul très-simple la condensation intérieure, en même temps que la quantité d'eau entraînée par la vapeur.

La plupart des machines à condensation étant réglées avec des détentes telles que la pression finale est inférieure à la pression atmosphérique, il suffira pour que la pression finale soit égale à celle de l'échappement de supprimer la condensation, de manière à augmenter la contre-pression, et l'on n'aura rien à changer à la distribution.

Le même résultat pourra être obtenu avec les machines sans condensation, marchant à des pressions de 5 à 6 kilogrammes au plus et pourvues d'une détente variable, à la condition que la période d'admission puisse être abaissée à 8 ou 10 p. 100 de la course totale.

Mais il n'en sera pas ainsi avec les locomotives qui marchent à des pressions de 7, 8 et même 9 kilog. et avec les machines sans condensation à détente fixe. Même avec les machines à condensation, il ne sera pas toujours possible de supprimer la communication avec le condenseur. On peut alors recourir au procédé que nous allons indiquer et qui, moins exact que le précédent, peut pourtant fournir des résultats suffisamment approchés.

15. Prenons donc une machine dans laquelle la pression finale de la détente P_1 soit supérieure à la pression d'échappement P_2.

En se reportant à l'équation (12), on voit qu'en définitive le problème de la détermination de la quantité $M(X - x_0)$ revient à celle de la mesure des quantités x_2 et $\mathfrak{E}_2$, c'est-à-dire du volume qu'occuperait la vapeur à l'intérieur du cylindre, si celui-ci avait des dimensions suffisantes pour que la pression finale fût égale à la contre-pression, et du travail total que produirait cette détente.

Si l'on connaissait la loi qui lie entre elles les quantités P et V, c'est-à-dire la pression et le volume occupés par la vapeur saturée pendant la détente, loi qui serait représentée par une équation telle que $V = \varphi(P)$, on pourrait, connaissant P_2 en déduire V_2. M. Rankine a proposé la formule

$$PV^{\mu} = P_0 V_0^{\mu}.$$

dans laquelle il fait $\mu = 1,111$.

M. Zeuner a reconnu que cette formule représente assez bien la courbe adiabatique des pressions d'une vapeur saturée, à la condition que l'on fasse varier la quantité μ avec la proportion x de vapeur initiale contenue dans le mélange gazeux, et il indique la formule empirique

$$\mu = 1,035 + 0,100\,x,$$

qui n'est applicable que pour des proportions de vapeur initiale comprises entre 1 et 0,70.

Dans le problème qui nous occupe, on n'a pas besoin de déterminer μ *à priori* puisque la courbe du diagramme permet de le calculer; il suffit en effet de mesurer sur la courbe les ordonnées et les abcisses de deux points P_1 et V_1, P_0 et V_0 et l'on a:

$$\mu = \frac{\log P_0 - \log P_1}{\log V_1 - \log V_0},$$

d'où

$$V_2 = V_0 \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{1}{\mu}} \qquad (13)$$

et

$$\mathfrak{E}_2 = \frac{P_0 V_0}{1 - \mu}\left[1 - \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{1}{\mu} - 1}\right]. \qquad (14)$$

Si l'on applique ce mode de calcul à des diagrammes pris sur des machines en marche, en considérant successivement des points $P'V'$, $P''V''$, etc., $P_1 V_1$ de plus en plus éloignés du commencement de la courbe de détente, on trouve que la valeur de μ calculée en prenant ces points deux à deux, au lieu d'être à peu près constante comme lorsqu'on a affaire à une courbe adiabatique, va ordinairement en diminuant. $AB_1 B_2$ (*fig.* 15, Pl. XI), étant la courbe du diagramme, les courbes fournies par les différentes valeurs de μ sont des courbes telles que $AB'B_2'$, $AB_1'' B_2''$, $AB_1 B_2'''$, qui sont situées au-dessus de la courbe réelle entre les points choisis pour déterminer μ et au-dessous de cette courbe dans la partie située au delà du second point de rencontre. Il résulte de là que les équations (13) et (14) donnent pour une valeur déterminée de P des valeurs de V et de ε qui sont trop fortes quand P est compris entre P_0 et P_1, et trop faibles quand P est plus petit que P_1.

On ne peut donc regarder les valeurs de V_2 et de ε_2 qu'on tirerait de ces équations que comme des limites inférieures, et nous avons constaté en faisant le calcul sur un assez grand nombre de diagrammes que les nombres ainsi obtenus sont souvent très-notablement éloignés des valeurs réelles.

16. Nous avons cherché à représenter la courbe AB_1B_2 par des formules empiriques donnant des résultats plus approchés que celle de Rankine, et pour cela nous y avons introduit trois constantes, de manière à assurer la coïncidence avec la courbe du diagramme en trois points au lieu de deux.

Parmi celles que nous avons essayées il y en a deux qui donnent une approximation satisfaisante et qui, employées concurremment, fournissent un résultat plus approché que si l'on se servait de chacune d'elles isolément.

La première est l'équation

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{\alpha}{P^m}}. \tag{15}$$

Les constantes α et m se calculent facilement au moyen des ordonnées et des abcisses, mesurées sur la courbe du diagramme, de trois points suffisamment espacés. En appelant P_0V_0, $P'V'$, $P''V''$ ces quantités, on a:

$$\log V' - \log V_0 = \alpha P'^{-m} \log \frac{P_0}{P'},$$

$$\log V'' - \log V_0 = \alpha P''^{-m} \log \frac{P_0}{P''},$$

d'où
$$\alpha P'^{-m} = \frac{\log V' - \log V_0}{\log P_0 - \log P'} = \frac{1}{\mu'}$$

et
$$\alpha P''^{-m} = \frac{\log V'' - \log V_0}{\log P_0 - \log P''} = \frac{1}{\mu''},$$

ce qui donne:
$$\left(\frac{P''}{P'}\right)^m = \frac{\mu''}{\mu'}$$

et
$$m = \frac{\log \mu'' - \log \mu'}{\log P'' - \log P'}.$$

m étant connu, α est fourni par l'une des deux premières équations.

La seconde formule empirique est:

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\alpha - m \log P}, \tag{16}$$

qui se calcule comme la précédente au moyen des coordonnées de trois points pris sur la courbe du diagramme. On a:

$$\alpha - m \log P' = \frac{1}{\mu'},$$

$$\alpha - m \log P'' = \frac{1}{\mu''},$$

d'où
$$m = \frac{\frac{1}{\mu''} - \frac{1}{\mu'}}{\log P' - \log P''}.$$

Les courbes représentées par les équations (15) et (16) se coupent en trois points dont les coordonnées sont P_0V_0, $P'V'$, $P''V''$. Pour les valeurs de P inférieures à P'', l'équation (16) représente une courbe qui est *toujours au-dessous* de la première, c'est-à-dire que pour une même valeur de P, elle fournit pour V une valeur un peu plus petite que l'équation (15).

Si donc l'équation (15), qu'on essayera la première, donne pour V_2 une valeur approchée par *défaut*, ce sera ce résultat qu'on adoptera.

Si elle donne pour V_2 une valeur approchée par *excès*, on se servira de l'équation (16) et l'on adoptera la valeur de V_2 qu'elle fournira.

Il est d'ailleurs facile de s'assurer si la valeur de V_2 fournie par l'équation (15) est approchée par défaut ou par excès. Il suffit pour cela de calculer une valeur de V correspondant à une pression P intermédiaire entre P' et P'' et de voir si cette valeur est inférieure ou supérieure à la valeur réelle de V mesurée sur la courbe du diagramme. Si elle est inférieure, c'est que l'équation donnera pour V_2 une valeur trop forte et que le résultat est approché par excès; si elle est supérieure, la valeur de V_2 sera approchée par défaut.

Nous donnerons ci-après des exemples numériques qui montrent l'approximation que l'on peut obtenir au moyen de ces formules. Elle est très-satisfaisante, à la condition pourtant que la valeur finale de la pression P_1 ne soit pas par trop éloignée de la valeur de la contre-pression P_2. Il est clair en effet que si la période de détente, et par suite la courbe tracée par le crayon de l'indicateur, sont très-courtes, la coïncidence de la courbe calculée et de la courbe du diagramme sera moins sûre. On voit aussi que l'approximation sera d'autant plus grande que la courbe des pressions rencontrera la ligne horizontale P_2B_2 sous un angle moins aigu. Par conséquent pour un même écart

entre P_1 et P_2, l'approximation diminuera avec P_2, c'est-à-dire qu'elle sera meilleure avec les machines sans condensation qu'avec les machines à condensation.

17. Quand on aura ainsi déterminé V_2, on en déduira x_2 par l'équation

$$Mx_2 = V_2\gamma_2, \quad \text{ou } Mx_2 = \frac{V_2}{u_2}.$$

Il reste à déterminer la quantité $\mathcal{E}_2$ ou plutôt $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1$, puisque nous connaissons $\mathcal{E}_1$ par le diagramme.

Suivant que l'on aura pris pour V_2 la valeur fournie par l'équation (15) ou celle que donne l'équation (16), on aura :

$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = P_2V_2 - P_1V_1 + \int_{P_2}^{P_1} V_0\left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{\alpha}{P_2 m}} dP,$$

ou

$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = P_2V_2 - P_1V_1 + \int_{P_2}^{P_1} V_0\left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\alpha - m\log P_2} dP.$$

Nous n'avons pu parvenir à intégrer les expressions

$$V_0\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{\alpha}{Pm}} dP \quad \text{et} \quad V_0\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\alpha - m\log P} dP.$$

Mais on obtient une valeur très-suffisamment approchée de $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1$ en remarquant que la formule exponentielle (13) dans laquelle μ est déterminé par les coordonnées P et V de deux points connus, donne *entre* ces deux points des valeurs de V et par suite de $\mathcal{E}$ qui sont très-voisines des valeurs réelles ; et comme l'erreur que l'on commet sur $\mathcal{E}$ est divisée par 425, l'erreur finale commise sur $A\mathcal{E}$ est négligeable.

On déterminera donc les valeurs de μ dans l'équation (13) au moyen des quantités connues P_1 V_1 et P_2 V_2 et l'on aura $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1$ par l'équation (14).

Connaissant x_2 et $\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1$ on aura Q_1' par l'équation (12):

$$Q'_1 = A(\mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1) - M(q_1 - q_2 + x_1\rho_1 - x_2\rho_2),$$

dans laquelle

$$Mx_1 = V_1\gamma_1 = \frac{V_1}{u_1}.$$

On a d'ailleurs :

$$Q'_1 = A\mathfrak{E}_1 - M(q_0 - q_1 + x_0\rho_0 - x_1\rho_1);$$

on aura donc M $(X - x_0)$ — R qui est égal à $Q_1 + Q_1'$.

18. Il n'a été question dans ce qui précède que des machines à un seul cylindre sans enveloppe.

La même méthode de calcul s'applique aux machines à enveloppe et aux machines à deux cylindres du système Woolf ou Compound.

Dans les machines à enveloppe de vapeur, la chaleur fournie par la vapeur qui se condense dans l'enveloppe ne se communique pas à la vapeur pendant la période d'admission, puisque la température à l'extérieur et à l'intérieur du cylindre est à peu près la même. Elle est employée tout entière, avec la chaleur provenant de la condensation intérieure, à augmenter le travail et la chaleur internes de la vapeur pendant la détente, et à pourvoir à la perte à l'échappement, ainsi qu'au refroidissement extérieur.

Si donc nous désignons par m_e la quantité d'eau condensée dans l'enveloppe par coup de piston et que l'on devra mesurer, l'equation (8) devient :

$$[M(X - x_0) + m_e]r_e = Q_1 + Q'_1 + R. \qquad (17)$$

Q_1 et Q_1' se calculeront d'ailleurs comme précédemment.

Il est nécessaire de remarquer que, dans ce cas, la quantité (1 — X) M tirée de l'équation (17) représentera, non plus la quantité d'eau entraînée par la vapeur sortant de

la chaudière, mais celle qui entre dans le cylindre et qui, à cause du passage dans l'enveloppe, est un peu plus forte que celle que renferme la vapeur à son entrée dans cette dernière.

Prenons maintenant une machine Woolf. Le mélange de vapeur et d'eau introduit dans le petit cylindre se condense en partie pendant l'admission. Une partie minime de la chaleur ainsi cédée aux parois est restituée au mélange pendant la détente; parfois même la condensation continue pendant la détente, si celle-ci est faible.

A la fin de la détente, ce qui reste de la chaleur cédée aux parois (Q_1') correspond à ce que nous avons nommé ci-dessus perte à l'échappement. Seulement ici cette chaleur, au lieu d'être emportée pendant l'échappement, est restituée en grande partie au mélange gazeux pendant la longue détente qui se fait pendant la course du piston dans le grand cylindre.

Au moment où le tiroir du grand cylindre ouvre la communication avec le petit cylindre, la pression baisse brusquement de P_1, pression finale de la détente, dans le petit cylindre, à P_2, pression du commencement de la course du grand piston à cause de l'augmentation de volume et à cause des condensations qui se produisent dans l'espace nuisible ou dans le réservoir intermédiaire.

A la fin de la détente dans le grand cylindre, on a une pression P_3; ce qui reste de la chaleur emmagasinée dans les parois et non récupérée par le mélange gazeux constitue la véritable perte à l'échappement, que nous nommerons Q_3'.

En conservant les notations déjà employées et affectant des indices 0, 1, 2 et 3, les quantités correspondant aux pressions P_0, P_1, P_2 et P_3, et appelant m_e et m_e', R' et R'', la quantité d'eau condensée dans l'enveloppe et le refroidissement extérieur afférents à chacun des deux cylindres, on aura :

1° Pour la période de détente dans le petit cylindre :

$$[M(X-x_0)+m_e]r_0=A\mathfrak{E}_1-M(q_0-q_1+x_0\rho_0-x_1\rho_1)+Q'_1+R'; \quad (18)$$

2° Pour la période de détente dans le grand cylindre :

$$Q'_1+m'_e r_0=A\mathfrak{E}_2-M(q_2-q_3+x_2\rho_2+x_3\rho_3)+Q'_2+R''. \quad (19)$$

Si la détente dans le petit cylindre est assez longue pour qu'on puisse déterminer par le calcul Q_1' avec une approximation suffisante, et si en même temps on a le soin de mesurer séparément les quantités m_e et m_e', on voit que la détermination de Q_1' et de Q_2 au moyen du diagramme par la méthode indiquée ci-dessus, fournit deux équations qui permettent de calculer les quantités M et X. Dans ce cas, on n'aura pas besoin de mesurer M et les diagrammes seuls, sans aucune autre observation, donneront la quantité de vapeur et d'eau fournie par coup de piston au cylindre et la quantité d'eau qui y était mélangée.

Si la détente dans le petit cylindre est trop courte pour qu'elle puisse servir à calculer Q_1' avec une approximation suffisante, ou bien si les dispositions de l'appareil ne permettent pas de mesurer séparément les quantités m_e et m_e', on se trouvera dans le cas général. On déterminera M et $m_e+m'_e$ par l'observation directe et Q'_2 par le calcul, comme il a été dit au paragraphe 17. En éliminant Q'_1 entre les équations (18) et (19), on aura l'équation

$$[M(X-x_0)+m_e+m'_e]r_0=A(\mathfrak{E}_1+\mathfrak{E}_2)-M(q_0-q_1+q_2-q_3+ \\ +x_0\rho_0-x_1\rho_1+x_2\rho_2-x_3\rho_3)+Q'_2+R'+R'', \quad (20)$$

qui permettra de calculer X.

19. Toutes les équations qui précèdent ont été établies dans l'hypothèse où le poids de vapeur et d'eau présent dans le cylindre à la fin de l'admission est égal au poids M de vapeur et d'eau fourni par la chaudière. En pratique,

les choses ne se passent pas tout à fait ainsi; au moment où l'admission commence, il reste dans l'espace nuisible un certain poids de vapeur et d'eau provenant de la course précédente et qui vient en déduction de celui que doit fournir la chaudière. Si la contre-pression *finale* est faible, ce poids de vapeur et d'eau resté dans le cylindre est lui-même très-faible et l'on peut supposer, sans commettre d'erreur sensible, qu'il ne change pas d'état calorifique pendant la période de détente. Dans ce cas, les équations ci-dessus sont applicables, à la condition qu'on retranche des poids de vapeur $V_0\gamma_0$ et $V_1\gamma_1$ calculés au moyen des volumes V_0 et V_1, le poids de vapeur β restant dans l'espace nuisible au commencement de la course, c'est-à-dire que l'on opérera sur les poids introduits M, $(V_0\gamma_0-\beta)$, $(V_1\gamma_1-\beta)$, et non sur les poids présents $M+\beta$, $V_0\gamma_0$ et $V_1\gamma_1$.

20. Il n'est plus permis d'opérer ainsi quand la contre-pression finale est assez grande, ce qui arrive dans les machines sans condensation dans lesquelles la période d'admission est précédée par une période de compression plus ou moins longue. Tel est le cas des locomotives. Il arrive alors en effet :

1° Que le poids de vapeur resté dans l'espace nuisible constitue une fraction notable du poids total présent dans le cylindre à la fin de l'admission, et qu'on ne peut plus supposer que ce poids ne change pas d'état calorifique pendant la détente;

2° Que la compression développe une certaine quantité de chaleur, dont une partie est employée à augmenter la pression de la vapeur renfermée derrière le piston, et dont l'autre est absorbée par les parois métalliques dont la couche sensible est portée de la température t_2 correspondant au commencement de la compression, à la température t_2' corrrespondant à la fin de cette même période. Cette chaleur ainsi absorbée par les parois vient en déduction

de celle qu'aurait à fournir la vapeur d'admission pour porter les parois de l'espace nuisible de t_2 à t_0 ; elle diminue donc la condensation intérieure et est restituée ensuite à la vapeur pendant la détente. La condensation intérieure sera donc réduite au minimum, si la période de compression est assez prolongée pour que la pression finale dans l'espace nuisible soit égale à celle de la vapeur d'admission.

On savait déjà que cette condition était nécessaire pour annuler l'influence de l'espace nuisible et obtenir le cycle parfait dans le travail de la vapeur à l'intérieur d'un cylindre. Mais il est intéressant de voir cette conclusion confirmée par l'étude des phénomènes de la condensation intérieure.

Cette condition ne peut guère être pratiquement réalisée dans les machines à condensation dans lesquelles la période d'admission est très-courte, celle de la détente très-longue et où la contre-pression est très-faible. Elle est réalisée plus ou moins complétement dans les locomotives par la distribution à coulisse.

Nous allons examiner comment les équations ci-dessus doivent être modifiées pour tenir compte des phénomènes qui accompagnent la compression de la vapeur à la fin de l'échappement.

21. **Soient comme précédemment :**

M, le poids de vapeur et d'eau fourni par la chaudière à chaque coup de piston ;

X, la proportion spécifique de la vapeur qu'elle contient;

x_0, la proportion spécifique de la vapeur à la fin de l'admission.

A la fin de l'échappement, commencement de la période de compression, il reste devant le piston un volume de vapeur V'_2 dont le poids est $\dfrac{V'_2}{u_2 + 0{,}001}$ ou $\dfrac{V'_2}{u_2}$, en négligeant le terme 0,001, qui est très-petit par rapport à u_2.

A la fin de la période de compression, le poids de vapeur présent sera devenu $\frac{v}{u'_2}$, v étant le volume de l'espace nuisible, et une certaine quantité de chaleur Q''_2 a été absorbée par les parois ou par l'eau qui les tapisse. Cette quantité de chaleur se joint pendant la période suivante à celle qui provient de la condensation intérieure pour être restituée au mélange de vapeur et d'eau pendant la détente et pour faire face à la perte à l'échappement et au refroidissement extérieur.

L'équation fondamentale nous donne pour la période de compression :

$$\frac{V'_2}{u_2}(q'_2 - q_2) + Q''_2 = A\varpi''_2 + \frac{V'_2}{u_2}\rho_2 - \frac{v}{u'_2}\rho'_2. \qquad (21)$$

q'_2, u'_2, ρ'_2 étant les valeurs de q, u et ρ correspondant à la pression P'_2 de la fin de la compression, ϖ''_2 le travail de compression qui est fourni par le diagramme. L'équation (21) donne donc Q''_2.

Au commencement de l'admission, la vapeur venant de la chaudière doit d'abord porter la pression de l'espace nuisible de P'_2 à P_0. Il se dépense pour obtenir cet effet une certaine quantité de chaleur qui est égale, puisqu'il n'y a pas de travail extérieur produit, à la différence des chaleurs internes, cette quantité de chaleur est donc :

$$\frac{V'_2}{u_2}(q_0 - q'_2) + v\left(\frac{\rho_0}{u_0} - \frac{\rho'_2}{u'_2}\right).$$

S'il n'y avait pas d'espace nuisible, le poids de vapeur et d'eau fourni par la chaudière serait M_0 et la chaleur d'évaporation correspondant à ce poids serait M_0Xr_0.

D'un autre côté, la chaleur d'évaporation réellement fournie par la chaudière est MXr_0.

On a donc:

$$MXr_0 = M_0Xr_0 + \frac{V'_2}{u_2}(q_0 - q'_2) + v\left(\frac{\rho_0}{u_0} - \frac{\rho'_2}{u'_2}\right). \qquad (22)$$

La chaleur correspondant à la condensation intérieure est :

$$M_0 X r_0 - \frac{(V_0 - v) r_0}{u_0}.$$

Or

$$V_0 = \left(M + \frac{V'_2}{u_2}\right) x_0 u_0.$$

La chaleur C correspondant à la condensation est donc :

$$C = M(X - x_0) r_0 - \frac{V'_2}{u_2}(q_0 + x_0 r_0 - q'_2) - v\left(\frac{\rho_0 - r_0}{u_0} - \frac{\rho'_2}{u'_2}\right). \quad (23)$$

Cette quantité de chaleur augmentée de celle qui a été reçue par les parois pendant la compression est égale à la chaleur restituée au mélange de vapeur et d'eau pendant la détente, plus la perte à l'échappement, plus le refroidissement intérieur (*).

On a donc :

$$\left.\begin{array}{l} M(X - x_0) r_0 - \dfrac{V'_2}{u_2}(q_0 - q'_2 + x_0 r_0) - v\left(\dfrac{\rho_0 - r_0}{u_0} - \dfrac{\rho'_2}{u'_2}\right) + \\ \qquad + Q''_2 = Q_1 + Q'_1 + R. \end{array}\right\} \quad (24)$$

Q_2'' est donné par l'équation (21).

Q_1 par l'équation

$$Q_1 = A\mathfrak{T}_1 - \left(M + \frac{V'_2}{u_2}\right)(q_0 - q_1 + x_0\rho_0 - x_1\rho_1). \quad (25)$$

Q'_1 par l'équation

$$Q'_1 = A(\mathfrak{T}_2 - \mathfrak{T}_1) - \left(M + \frac{V'_2}{u_2}\right)(q_1 - q_2 + x_1\rho_1 - x_2\rho_2). \quad (26)$$

(*) Le problème de la détermination de la perte de chaleur pendant l'admission par suite de l'espace nuisible, a été traité par M. Zeuner, dans son livre classique de la *Théorie mécanique de la chaleur*. Mais l'éminent auteur n'ayant pas tenu compte de la condensation intérieure et de l'influence des parois, est arrivé à cette conclusion bien éloignée de la vérité qu'*en général il y a évaporation d'eau pendant l'admission et condensation pendant la détente*. C'est le contraire qui a lieu.

dans laquelle on calculera $\mathfrak{S}_2$ et x_2 comme il a été dit au paragraphe 17.

Dans l'équation (24) remplaçons Q''_2 par sa valeur tirée de l'équation (21), $r_0 - \rho_0$ par AP_0u_0 et $\left(M + \frac{V_2'}{u_2}\right)x_0$ par $\frac{V_0}{u_0}$, nous aurons :

$$\left.\begin{aligned} MXr_0 - \frac{V_0r_0}{u_0} - \frac{V'_2}{u_2}(q_0 - q_2 - \rho_2) + AP_0v + A\mathfrak{S}''_2 = \\ = Q_1 + Q'_1 + R. \end{aligned}\right\} \quad (27)$$

ou en éliminant Q_1 entre les équations (25) et (27) et remplaçant encore $\left(M + \frac{V_2'}{u_2}\right)x_0$ par $\frac{V_0}{u_0}$:

$$\left.\begin{aligned} MX\lambda_0 + M(1 - X)q_0 + \frac{V'_2}{u_2}(q_2 + \rho_2) + A\mathfrak{S}''_2 = AP_0(V_0 - v) + \\ + A\mathfrak{S}_1 + \left(M + \frac{V'_2}{u_2}\right)(q_1 + x_1\rho_1) + Q'_1 + R. \end{aligned}\right\} \quad (28)$$

Or $MX\lambda_0 + M(1 - X)q_0$ c'est la chaleur totale apportée de la chaudière par le mélange formé du poids MX de vapeur et $M(1 - X)$ d'eau; $AP_0(V_0 - v) + A\mathfrak{S}_1$ c'est le travail moteur total obtenu. L'équation exprime donc que la quantité totale de chaleur fournie par la chaudière au mélange de vapeur et d'eau envoyé au cylindre, plus la chaleur interne de la vapeur qui se trouvait devant le piston au moment du commencement de la compression, plus la chaleur produite par le travail de la compression, est égale à la chaleur dépensée en travail moteur, plus la chaleur interne que possède le mélange de vapeur et d'eau au moment où s'ouvre l'échappement, plus les diverses pertes.

Elle montre en outre que le travail résistant $\mathfrak{S}_2''$ n'est pas perdu, puisque toute la chaleur nécessaire pour le produire est restituée ensuite soit en travail moteur, soit en chaleur interne.

On peut mettre l'équation (28) sous une forme plus simple, en remplaçant Q_1' par sa valeur tirée de l'équation (27) et $\left(M + \frac{V'2}{u2}\right) x_2$ par $\frac{V_2}{u_2}$.

Elle devient alors :

$$\left.\begin{aligned} MXr_0 + M(q_0 - q_2) = AP_0(V_0 - v) + A\mathfrak{S}_2 - A\mathfrak{S}''_2 + \\ + (V_2 - V'_2)\frac{\rho_2}{u_2} + R. \end{aligned}\right\} \quad (29)$$

Si la détente est prolongée jusqu'à ce que la pression finale d'échappement soit égale à P_2, le diagramme et les tables fourniront toutes les valeurs nécessaires pour tirer de cette équation la valeur de M ou celle de X quand on connaîtra l'une ou l'autre de ces deux quantités.

Si la détente est poussée seulement jusqu'à la pression P_1, on calculera $\mathfrak{S}_2$ et V_2 comme il a été dit au § 17, et l'on aura une équation ne contenant que les deux inconnues M et X.

La chaleur produite par la condensation intérieure C est donnée par l'équation (23) qu'on peut écrire :

$$C = MXr_0 - (V_0 - v)\frac{r_0}{u_0} - \frac{V'_2}{u_2}(q_0 - q'_2) - v\left(\frac{\rho_0}{u_0} - \frac{\rho'_2}{u'_2}\right), \quad (30)$$

et le poids de vapeur condensée Π est :

$$\Pi = MX - \frac{(V_0 - v)}{u_0} - \frac{V'_2}{u_2 r_0}(q_0 - q'_2) - \frac{v}{r_0}\left(\frac{\rho_0}{u_0} - \frac{\rho'_2}{u'_2}\right). \quad (31)$$

Si à la fin de la période de compression, la pression P_2' devient égale à la pression d'admission P_0, les termes de correction dus à l'espace nuisible disparaissent et l'on a :

$$C = MXr_0 - (V_0 - v)\frac{r_0}{u_0}$$

et

$$\Pi = MX - \frac{V_0 - v}{u_0}.$$

22. La méthode que nous venons d'exposer permet donc de déterminer au moyen d'un simple diagramme pris sur une machine :

Soit la quantité de vapeur qui s'est condensée intérieurement pendant l'admission $M(X - x_0)$, pourvu que l'on connaisse M ou X ; soit l'une des quantités M ou X, quand on connaît l'autre.

Elle peut donc être utilement employée dans la recherche des lois de la condensation intérieure, qui sont encore inconnues. Elle peut aussi servir à la détermination de la quantité d'eau entraînée avec la vapeur, détermination qui n'avait pu être faite jusqu'ici sur certaines machines et notamment sur les locomotives.

Voici comment, dans ce dernier cas, on devrait conduire l'expérience :

On devrait choisir pour l'essai une section de pente ou de rampe uniforme, telle que l'on pût maintenir la vitesse du train à peu près constante pour un même cran de changement de marche pendant toute la durée de l'expérience, et assez longue pour que la dépense d'eau fût de plusieurs mètres cubes. On devrait s'arranger, en combinant convenablement la charge du train et la vitesse, pour que la distribution fût réglée à une admission ne dépassant pas 20 pour 100 de la course. Le tender pourrait être au préalable jaugé et muni d'une échelle graduée et d'un tube de niveau. Mais les variations de poids pouvant agir inégalement sur les quatre ressorts, la mesure de l'eau employée pendant le trajet pour l'alimentation se ferait plus exactement en jaugeant directement l'eau introduite dans le tender au départ et l'eau restante à l'arrivée. On notera au départ par une marque le niveau de l'eau dans la chaudière et l'on s'arrangera à l'arrivée pour ramener le niveau au même point, la machine étant dans les deux cas sur un palier. La différence entre l'eau introduite dans le tender et l'eau restante donnera la quantité totale d'eau fournie à l'alimentation.

Tous les 2 ou 3 kilomètres, on prendra des diagrammes sur les deux faces de chaque piston, la face avant et la face arrière n'ayant pas ordinairement la même distribution. Si la distribution est bien réglée, les diagrammes pris sur la même face dans chacun des deux cylindres seront semblables. Le refroidissement extérieur étant notablement plus fort sur la face avant des cylindres que sur la face arrière, il sera bon de protéger la première par une plaque de tôle ou de bois ou de toute autre manière. On observera la température de l'air extérieur nécessaire pour le calcul du refroissement.

On notera le point précis où l'on aura pris chacun des diagrammes et on les considérera comme représentant la marche de la distribution dans l'intervalle de deux observations successives. Si la vitesse est bien régulière, la marche du feu et l'alimentation bien réglées, on aura des diagrammes différant peu les uns des autres et l'on peut admettre que la proportion d'eau entraînée $1 - X$ est constante.

Enfin on observera la pression barométrique d'où dépend la contre-pression.

Au moyen des m diagrammes ainsi relevés, on calculera par la méthode indiquée ci-dessus et pour chacun d'eux les différents termes de l'équation (29) et l'on aura, en appelant n le nombre de coups de piston correspondant à chaque diagramme et déduit de la distance parcourue et du diamètre des roues, m équations entre les $m + 1$ inconnues M', M'', M''', etc., et X. Comme d'ailleurs le poids total d'eau fourni à l'alimentation $M = n'M' + n''M'' + n'''M''' + \dots$ on aura $m + 1$ équations entre les $m + 1$ inconnues cherchées.

Ces équations seront de la forme

$$n'M'(a' + b'X) = n'k'$$
$$n''M''(a'' + b''X) = n''k''$$
$$n'''M'''(a''' + b'''X) = n'''k'''$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

et $$M = n'M' + n''M'' + n'''M''' + \dots$$

L'élimination de M', M'', M'''.... donnera :

$$\frac{n'k'}{a'+b'X}+\frac{n''k''}{a''+b''X}+\frac{n'''k'''}{a'''+b'''X}+\ldots\ldots=M$$

équation de m^e degré.

Si la marche a été bien régulière, les diagrammes différeront très-peu les uns des autres et l'on pourra avec une approximation suffisante prendre le diagramme moyen qui donnera immédiatement X par une équation du premier degré.

On pourrait opérer de la même façon sur une section de profil et de tracé variables; mais alors la quantité de vapeur fournie à chaque instant par la chaudière variant également, on ne serait pas certain que la quantité X restât constante.

23. Pour montrer l'emploi de la méthode que nous venons d'exposer, nous allons donner quelques exemples numériques de calculs faits sur un certain nombre de diagrammes.

Les diagrammes nos 1 et 2 (*fig.* 12 et 13, Pl. XI) nous ont été communiqués par M. Kraft, ingénieur en chef de la compagnie Cockerill de Seraing. Ils ont été relevés sur une machine d'extraction à soupapes et à détente variable, système Audemar Kraft, fournie par cette compagnie à la société de l'Espérance et placée sur la fosse Morchamp à Seraing.

Les dimensions du cylindre sont :

Diamètre.	$0^m,825$
Course du piston.	$1^m,25$
Volume décrit par le piston pendant toute sa course.	$0^{m3},668.204$

Nous ne connaissons pas le volume de l'espace nuisible.

Nous l'évaluons à 4 p. 100 du volume décrit par le piston, soit à $0^{m^3},026728$.

Le volume total à la fin de la course est donc de $0^{m^3},694932$.

L'échelle des pressions des diagrammes est de 6 millimètres par kilogramme.

Étude du diagramme n° 1. — Ce diagramme, comme le suivant, a été relevé à peu près aux deux tiers de l'ascension de la cage pleine. La courbe de détente descend jusqu'à la ligne atmosphérique, égale à la contre-pression. Nous nous trouvons donc ici dans les conditions énoncées au § 14; le diagramme fournit la quantité $\mathfrak{E}_2$ et l'équation (12) permet de calculer X, si l'on connaît M ou réciproquement.

Le diagramme donne :

$$P_0 = 36601^k \qquad P_1 = P_2 = 10334$$
$$V_0 = 0^{m^3},161241 \qquad V_2 = 0^{m^3},674158$$
$$\mathfrak{E}_2 = 8561^{kgm}$$

On en déduit au moyen des tables de Zeuner :

$$t_0 = 139°,655 \qquad t_2 = 100°$$
$$\gamma_0 = 1,990 \qquad \gamma_2 = 0,6059$$
$$\rho_0 = 464,929 \qquad \rho_2 = 496,3$$
$$r_0 = 508,225 \qquad q_2 = 100,5$$
$$q_0 = 140,870$$

Il reste à la fin de la course dans l'espace nuisible un volume de vapeur de $0^{m^3},026728$ dont la densité est de 0,6059 et le poids de $0^k,0162$.

Comme ce poids est très-petit par rapport au poids introduit, nous supposerons, pour simplifier les calculs, que la vapeur renfermée à la fin de la course dans l'espace nuisible ne change pas d'état calorifique pendant la course suivante.

Le poids de vapeur introduit Mx_0 est donc, à la fin de l'admission :

$$0,161241 \times 1,99 - 0,0162 \quad \text{ou} \quad 0^k,3043.$$

A la fin de la détente, ce poids de vapeur Mx_2 est devenu :

$$0,674158 \times 0,6059 - 0,0162 \quad \text{ou} \quad 0^k,3923.$$

Il y a donc eu évaporation pendant la détente de $0^k,0880$ provenant de l'eau condensée pendant l'admission.

L'équation (10) donne :

$$508,225\,MX + 40,370\,M = 0,3043(508,225 - 464,929 + \frac{8561}{425} + 0,39228 \times 496,3 + 0,96,$$

le refroidissement extérieur étant évalué à $0^c,96$,

d'où $$M[508,225\,X + 40,370] = 228,01,$$

équation qui donnerait X si l'on avait mesuré M, ou réciproquement M si l'on connaissait X.

Supposons que X soit égal à 0,95, 0,90 ou 0,85.

Nous trouverons :

Le poids de vapeur et d'eau introduit.	M =	$0^k,4358$	$0^k,4580$	$0^k,4827$
Le poids de vapeur introduit.	MX =	$0^k,4130$	$0^k,4122$	$0^k,4103$
Le poids de vapeur condensée.	$M(X-x_0)$ =	$0^k,1087$	$0^k,1079$	$0^k,1060$
et	$\frac{X-x_0}{x_0}$ =	35,6 %	35,5 %	34,8 %

La proportion d'eau entraînée étant certainement comprise entre 5 et 15 p. 100, on voit que la condensation intérieure pendant l'admission est certainement comprise entre 35,6 et 34,8 p. 100 du poids de vapeur sensible.

Ce résultat est intéressant à constater ; car il montre que

la valeur de M tirée de l'équation (12) varie très-peu quand X varie lui-même entre des limites étendues et que le diagramme seul peut par conséquent fournir avec une approximation assez grande l'évaluation de la condensation intérieure, sans qu'on ait besoin de connaître exactement la quantité X.

Le même diagramme peut nous servir pour déterminer l'approximation que donnent les formules (15) et (16) pour le calcul de T_2 et de V_2.

Supposons donc que le diagramme s'arrête en B_1V_1 et calculons le volume V_2 par la méthode indiquée au § 17.

Prenons pour déterminer les constantes les coordonnées des trois points A, B'_1 B_1, savoir:

$$P_0 = 36601 \qquad V_0 = 0,161241$$
$$P_1' = 20234 \qquad V_1' = 0,279469$$
$$P_1 = 16001 \qquad V_1 = 0,366023$$

Nous avons:

$$\frac{1}{\mu'} = \frac{\log 0,279469 - \log 0,161241}{\log 36601 - \log 20234} = 0,92793$$

$$\frac{1}{\mu''} = \frac{\log 0,366023 - \log 0,161241}{\log 36601 - \log 16001} = 0,99078$$

$$m = \frac{\log 0,99078 - \log 0,92793}{\log 20234 - \log 16001} = 0,2792145$$

$$\log \alpha = \log 0,92793 + 0,2792145 \log 20324 = 1,1698361$$
$$\alpha = 14,7855.$$

La formule cherchée est donc :

$$V = 0,161241 \left(\frac{36601}{P}\right)^{\frac{14,7855}{P^{0,2792145}}}$$

En prenant pour P une valeur iutermédiaire entre 20.234 et 16.001, on obtient pour V une valeur un peu plus forte que celle que l'on déduit du diagramme. La valeur de V_2

sera donc approchée par défaut et par conséquent c'est bien la formule (15) qu'il faut adopter.

On a :

$$\log V_2 = \log 0{,}161241 + \frac{14{,}7855}{10334^{0.2792148}}[\log 36601 - \log 10334],$$

d'où $\qquad V_2 = 0{,}65875$ au lieu de $0{,}674158$.

On en déduirait $Mx_2 = 0{,}3829$ au lieu de $0^k{,}3923$, valeur réelle.

$\mathfrak{T}_2$ se calculerait par la formule (14) dans laquelle

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\log 16001 - \log 10334}{\log 0{,}65875 - \log 0{,}366023} = 0{,}7439723,$$

d'où $$\mathfrak{T}_2 - \mathfrak{T}_1 = 3714.$$

La mesure directe sur le diagramme donne 3.835 kilog.

La différence étant divisée par 425 est négligeable.

Le diagramme donne $\mathfrak{T}_2 - \mathfrak{T}_1 = 4.726$ kilogrammètres.

On a donc :

$$A\mathfrak{T}_2 = \frac{3714 + 4726}{425} = 19{,}86$$

et $M_1X\ 508{,}225 + 40{,}370\ M_1 = 0{,}3043(508.225 - 464{,}929 +$
$+ 19{,}86 + 0{,}96 + 0{,}3829 \times 496{,}3,$

ou $\qquad M_1X\ 508{,}225 + 40{,}370\ M_1 = 224{,}025.$

Faisant comme ci-dessus	$X = 0{,}95$	$0{,}90$	$0{,}85$
on trouve	$M_1 = 0^k{,}4281$	$0{,}4500$	$0{,}4745$
au lieu de	$M = 0{,}4358$	$0{,}4580$	$0{,}4827$

L'approximation est donc à 2 p. 100 près.

Si au lieu de calculer M en se donnant X, on cherche X en se donnant M, et faisant successivement

	$M = 0{,}4358$	$0{,}4580$	$0{,}4827$
nous aurons	$X = 0{,}932$	$0{,}882$	$0{,}832$
au lieu de	$0{,}95$	$0{,}90$	$0{,}85$

L'erreur est à peu près constante quel que soit X, et égale à 1,8 environ, ce qui constitue un résultat satisfaisant dans des recherches aussi délicates.

24. ***Étude du diagramme n° 2.*** — Ce diagramme est dans les mêmes conditions que le précédent, c'est-à-dire que la courbe descend jusqu'à la ligne atmosphérique et fournit la valeur exacte de V_2 et de $\mathfrak{E}_2$.

Il donne :

$$P_0 = 36334 \qquad P_1 = P_2 = 10334$$
$$V_0 = 0{,}121592 \qquad V_2 = 0{,}701814$$
$$\mathfrak{E}_2 = 8777^{km}$$

On a par les tables :

$$t_0 = 139{,}40 \qquad t_2 = 100^\circ$$
$$\gamma_0 = 1{,}976 \qquad \gamma_2 = 0{,}6059$$
$$\rho_0 = 465{,}136 \qquad \rho_2 = 496{,}3$$
$$r_0 = 508{,}420 \qquad q_2 = 100{,}5$$
$$q_0 = 140{,}60$$

Le poids de vapeur correspondant au volume V_0 est $0{,}121592 \times 1{,}976$ ou $0^k{,}2403$.

J'en retranche le poids de la vapeur restant dans l'espace nuisible $0^k{,}0162$ et j'ai :

$$Mx_0 = 0^k{,}2241.$$

Je trouve de même $Mx_2 = 0{,}4092$.

L'évaporation est donc ici de $0^k{,}1851$.

L'équation (10) donne :

$$508{,}42\,MX + 40{,}55\,M = 234{,}39.$$

Supposons.	X	=	0,95	0,90	0,85
Le poids de vapeur et d'eau introduit.	M	=	$0^k,4477$	$0^k,4706$	$0^k,4958$
Le poids de vapeur introduit.	MX	=	$0^k,4253$	$0^k,4235$	$0^k,4214$
Le poids de vapeur condensée.	$M(X-x_0)$	=	$0^k,2012$	$0^k,1994$	$0^k,1973$
La proportion de vapeur condensée p. 100 de vapeur sensible. . . .	$\frac{X-x_0}{x_0}$	=	89,8 %	89,0 %	88 %

Ainsi la proportion de vapeur qui se condense pendant l'admission est, pour cette marche, de 89 p. 100 environ du poids de vapeur sensible.

Nous nous servirons encore de ce diagramme pour vérifier les formules (15) et (16).

Nous prendrons comme valeurs de comparai son pour déterminer les constantes :

$$P_0 = 36334 \qquad V_0 = 0,121592$$
$$P_1' = 21349 \qquad V_1' = 0,215071$$
$$P_1 = 16201 \qquad V_1 = 0,315821$$

En opérant comme ci-dessus, on trouve :

$$\frac{1}{\mu'} = 1,072534$$
$$\frac{1}{\mu''} = 1,181783.$$

d'où l'on tire pour la formule (15) :

$$m = 0,461310$$
$$\alpha = 108,7990$$

et $V'_2 = 0,736170$, valeur approchée par excès, ce qu'il est facile de vérifier en calculant une valeur de V correspondant à une valeur de P, intermédiaire entre P'_1 et P_1, et constatant que cette valeur est un peu inférieure à la valeur réelle de V donnée par le diagramme.

On calcule donc la formule (16):

$$m(\log 21349 - \log 16201) = \frac{1}{\mu''} - \frac{1}{\mu'} = 0,109249,$$

d'où $$m = 0,911586$$

et $$\alpha = \frac{1}{\mu''} - m \log 16201 = 5,001010;$$

on en déduit $$V''_2 = 0,65666,$$

valeur approchée par défaut, ainsi qu'on le vérifierait en calculant une valeur de V correspondant à une pression intermédiaire entre P'_1 et P_1.

Nous prenons pour V_2 la moyenne des deux résultats trouvés et nous avons en définitive :

$$V'_2 = 0,696415 \text{ au lieu de } V_2 = 0,701814, \text{ chiffre réel.}$$

La différence est seulement de $0^{m^3},0055399$ ou 0,8 p. 100. Elle est donc très-faible, bien que la longueur finale OV'_2 soit supérieure à deux fois la longueur finale de la détente OV_1 prise pour terme de comparaison.

Le poids de vapeur final qu'on déduit de V'_2 est $Mx_2 =$ 0,4058 au lieu de 0,4092.

Calculant comme ci-dessus la valeur de $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1$ au moyen du volume V'_2, on trouve :

$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 4835^{km}$$

au lieu de 4.950, chiffre donné par la mesure directe sur le diagramme. On en déduit :

$$A\mathcal{E}_2 = \frac{8662}{425} = 20,38$$

et $$508,42\, M_1X + 40,55\, M_1 = 20,38 + 9,70 + 0,4058 \times$$
$$\times\, 496,3 + 0,96$$

ou $$508,42\, M_1X + 40,55\, M_1 = 232,44$$

faisant successivement	$X = 0,95$	0,90	0,85
cette équation donne	$M_1 = 0,4440$	0,4666	0,4916
au lieu de	$M = 0,4477$	0,4706	0,4958

que nous avons trouvés ci-dessus. Ces valeurs de M_1 diffèrent donc très-peu de celles de M ; l'approximation est de 0,8 à 0,9 p. 100.

Faisons maintenant $M_1 = 0,4477$, 0,4706, 0,4958, et calculons X par l'équation

$$508,42\, M_1 X + 40,55\, M'_1 = 232,44,$$

nous aurons	X = 94,3 %	89,3 %	84,4 %
au lieu de	94,1	89,1	84,1.

L'erreur est seulement de 0,7, c'est-à-dire très-faible.

25. Il est inutile de multiplier les exemples d'application des formules (15) et (16). Nous les avons essayées sur un assez grand nombre de diagrammes et nous avons toujours trouvé des résultats semblables à ceux que nous ont donnés les diagrammes 1 et 2. On pourra donc les appliquer avec sécurité dans les limites que nous avons indiquées plus haut.

Il serait d'ailleurs sans intérêt, au point de vue de la recherche des lois de la condensation intérieure, de continuer l'étude des diagrammes de la machine de l'*Espérance*. Quand on change la détente d'une machine en marche, il faut un certain temps pour que la succession et la répartition des températures à l'intérieur du cylindre, la quantité d'eau qui est expulsée pendant l'échappement et la condensation intérieure qui en dépend deviennent régulières, en un mot, pour qu'il s'établisse un régime normal, dénoté par la constance de la forme des diagrammes. Dans une machine d'extraction à détente variable, ce régime normal n'a pas le temps de s'établir, puisque l'on change la détente à chaque instant.

Nous allons étudier maintenant un certain nombre de diagrammes relevés en régime normal sur une machine locomotive du chemin d'Orléans et dont nous devons la communication à l'obligeance de M. l'ingénieur en chef Forquenot.

26. Les diagrammes nos 3, 4, 5, 6 et 7 (*fig.* 7 à 11, Pl. XI) ont été relevés le 8 août 1865, entre Paris et Orléans, sur la face avant de l'un des cylindres de la locomotive n° 851, à six roues accouplées.

	mètres.
Le diamètre des roues est de.	1,350
Le diamètre des cylindres de.	0,45
La course des pistons de.	0,65
Le volume décrit par le piston est donc de.	$0^{m3},10335$
Le volume de l'espace nuisible correspondant est de.	$0^{m3},00615$

Diagramme n° 3. La pression dans la chaudière était de $7^{atm.},6$, la vitesse de 28 kilom. à l'heure. La distribution correspondante était :

Admission.	15 % de la course.
Échappement anticipé.	40 %
Compression.	40 %
Ouverture des lumières. . . .	$6^{mm}\,{}^1/_2$

La courbe de détente présente une série d'ondulations qu'on doit attribuer à l'inertie du piston de l'indicateur et aux trépidations de la machine. Nous les avons rectifiées par le trait pointillé. Toutefois, nous avons eu soin de ne prendre les points de comparaison que sur la courbe même du diagramme.

Comme la détente commence un peu avant la fin de l'admission, à cause du rétrécissement de l'ouverture des lumières, nous ne pouvons mesurer exactement le volume V_0 correspondant à la fin de l'admission. Nous le calculerons ultérieurement au moyen de la formule représentant la courbe de détente.

Nous prendrons comme valeurs de comparaison :

$$P_0' = 60851 \qquad V_0' = 0,02396$$
$$P_1' = 34766 \qquad V_1' = 0,04491$$
$$P_1 = 23777 \qquad V_1 = 0,06816$$

mesurées directement.

En suivant la marche indiquée au § 16, on trouve :

$$\frac{\alpha}{P'^{m}_{1}} = \frac{1}{\mu'} = 1,122343 \qquad \mu' = 0,890993$$

$$\frac{\alpha}{P^{m}_{1}} = \frac{1}{\mu''} = 1,092818 \qquad \mu'' = 0,915065$$

d'où l'on tire $\alpha = 0,556022$

$$m = -0,06717105$$

Essayant la formule $V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{\alpha}{P^m}}$ pour $P''_1 = 27050$, on trouve $V''_1 = 0,058621$ au lieu de $0,05842$, valeur mesurée sur le diagramme. La valeur donnée pour V_2 par la formule sera donc approchée par défaut.

Faisant $P = P_0 = 74629$, on trouve $V_0 = 0,018888$, soit, en retranchant le volume de l'espace nuisible 0,00615, un peu moins de 13 p. 100 du volume décrit par le piston, au lieu de 15 p. 100, chiffre donné par la distribution. Cette différence provient, comme nous l'avons dit, du rétrécissement de l'ouverture des lumières à la fin de la période d'admission, rétrécissement qui fait commencer plus tôt la détente.

Faisant $P = P_2 = 10334$ on trouve $V_2 = 0,14999$.

On a $$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = \frac{P_1 V_1}{1 - \mu}\left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{\mu} - 1}\right]$$

$$\text{et } \mu = \frac{\log \frac{P_1}{P_2}}{\log \frac{V_2}{V_1}} = 1,03501$$

d'où $$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 1239^{\text{km}}$$

La mesure directe sur le diagramme donne :

$$\mathcal{E}_1 = 1863^{\text{km}}, \qquad \mathcal{E}_2'' = 1338^{\text{km}} \qquad V_2' = 0,04749$$

d'où $$\mathcal{E}_2 = 3102^{\text{km}}$$

On a d'ailleurs $P_0(V_0 - v) = 951$

et nous évaluons R à $0^c,232$.

Les tables donnent :

$$q_0 = 168,685 \qquad q_2 = 100,5$$

$$r_0 = 488,720 \qquad \frac{\rho_2}{u_2} = 300,9$$

$$\rho_0 = 443,564$$

$$\frac{r_0}{u_0} = 1905,3$$

L'équation (29) devient :

$$(488,72X + 68,185)M = \frac{951 + 3102 - 1338}{425} +$$

$$+ (0,14999 - 0,04749)\ 300,9 + 0,232$$

ou

$$(488,72X + 68,185)M = 37,398.$$

Les équations (30) et (31) deviennent, toutes réductions faites :

$$C = 488,72MX - 24,19$$

$$\Pi = MX - 0,0495.$$

Faisons successivement $X = 0,85,\ 0,80,\ 0,75,\ 0,70.$

Nous aurons :

Le poids de vapeur et d'eau fourni par la chaudière. . .	M =	$0^k,0773$	$0^k,0814$	$0^k,0860$	$0^k,09$[illegible]
Le poids de vapeur qu'il contient.	MX =	$0^k,0657$	$0^k,0651$	$0^k,0645$	$0^k,06$[illegible]
La chaleur produite par la condensation intérieure. . .	C =	$7^c,92$	$7^c,62$	$7^c,33$	$7^c,08$
Le poids de vapeur condensée intérieurement.	Π =	$0^k,0162$	$0^k,0156$	$0^k,0150$	$0^k,0145$
La proportion de vapeur condensée pour 100 de vapeur fournie.	$100\frac{\Pi}{MX}$ =	24,6	23,9	23,2	22,7
La proportion de vapeur condensée pour 100 de vapeur sensible.	$100\frac{\Pi}{MX-\Pi}$ =	32,7	31,5	30,6	29,3

La proportion d'eau entraînée étant très-probablement comprise entre 15 et 30 p. 100, le poids de vapeur condensée intérieurement pendant l'admission est compris entre $0^k,0162$ et 0,0145, soit entre 29,3 et 32,7 p. 100 du poids de vapeur sensible. On voit donc que *par le diagramme seul* nous obtenons ce poids avec une assez grande approximation, même sans connaître exactement la proportion d'eau entraînée.

Les résultats numériques auxquels nous venons d'arriver nous permettent aussi d'établir, pour cette distribution, la consommation en calories par kilogrammètre de travail moteur.

Le travail brut disponible sur le piston est égal à $P_0(V_0 - v) + \mathfrak{E}_1 - \mathfrak{E}''_2 - P_2(V - V'_2) +$ le travail dont nous n'avons pas encore eu à tenir compte, qui est développé sur le piston pendant la période d'échappement anticipé. Ce travail est, d'après le diagramme, de 674 kilogrammètres.

V est le volume total décrit par le piston : $0^{m^3},10335$.

Le travail brut disponible par coup de piston est de 1.573 kilogrammètres.

On a dépensé un nombre de calories égal à $MXr_0 + M(q_0 - q_3)$, q_3 étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kilog. d'eau de 0° à t_3, en appelant t_3 la température de l'eau d'alimentation supposée égale à 20°.

K étant ce nombre de calories, la quantité de chaleur dépensée par cheval et par heure sera :

$$K \frac{270000}{1573}$$

On trouve ainsi pour.	X =	0,85	0,80	075	0,70
la chaleur dépensée par coup.	K =	$43^c,60$	$43^c,93$	44,31	$44^c,91$
la chaleur dépensée par cheval et par heure.		7.480^c	7.539^c	7.602^c	7.705

Diagramme n° 4. — Les données générales sont :

Pression dans la chaudière........	$7^{atm.},5$.
Vitesse....................	24 kil. à l'heure.
Admission..................	20 p. 100 de la course.
Echappement anticipé..........	35 p. 100.
Compression................	35 p. 100.
Ouverture des lumières..........	$7^{mm}\ {}^1/_2$.

Nous prendrons comme valeurs de comparaison :

$$P_0' = 55524^k \qquad V_0' = 0,03499$$
$$P_1' = 37338^k \qquad V_1' = 0,05278$$
$$P_1 = 26499^k \qquad V_1 = 0.07293$$

On en déduit :

$$\frac{1}{\mu'} = 1,0359538 \qquad \mu' = 0,965294$$

$$\frac{1}{\mu''} = 1,0157431 \qquad \mu'' = 0,984501$$

l'exposant $\frac{1}{\mu}$ va donc en diminuant et non en augmentant.

Les formules (15) et (16) deviennent dans ce cas :

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\alpha P^m} \qquad (15)'$$

et

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\alpha + m \log P} \qquad (16)'$$

Les constantes de la formule (15) sont :

$$\alpha = 0,548569$$
$$m = 0,0603893.$$

Prenant une valeur de P, $P = P''_1 = 32.929$, intermédiaire entre P'_1 et P_1, on trouve $V''_1 = 0,059886$ au lieu de 0,06048, valeur mesurée directement sur le diagramme. C'est donc la formule (16) qu'il faut adopter.

Les constantes sont :

$$\alpha = 0,3837762$$
$$m = 0,1426413.$$

On en déduit pour $P = P_0 = 75180$, $V_0 = 0,02537$

et pour $P = P_2 = 10334$, $V_2 = 0,174604$

$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 1646^{km}.$$

Le diagramme donne :

$$\mathcal{E}_1 = 2092 \quad \text{d'où} \quad \mathcal{E}_2 = 3738$$
$$\mathcal{E}_2'' = 857^{km}$$
$$V_2' = 0,03263.$$

On a d'ailleurs par les tables, pour $P_0 = 75.180$:

$$q_0 = 168,86$$
$$r_0 = 488,55$$
$$\frac{r_0}{u_0} = 1910,4.$$

Les équations (29), (30) et (31) deviennent, toutes réductions opérées et en faisant $R = 0,234$:

$$(488,55X + 68,36)M = 53,131$$
$$C = 488,55MX - 36,718$$
$$\Pi = MX - 0,0752.$$

On a :

Faisant comme précédemment	X	= 0,85	0,80	0,75	0,70
Le poids de vapeur et d'eau consommé par coup de piston.	M	= $0^k,1099$	$0^k,1157$	$0^k,1221$	$0^k,1294$
Le poids de vapeur correspondant	MX	= $0^k,0934$	$0^k,0925$	$0^k,0916$	$0^k,0906$
La chaleur produite par la condensation intérieure	C	= $8^c,892$	$8^c,453$	$8^c,014$	$7^c,726$
Le poids de vapeur condensée intérieurement	Π	= $0^k,0182$	$0^k,0173$	$0^k,0164$	$0^k,0154$
La proportion de vapeur condensée pour 100 de vapeur fournie.	$100\frac{\Pi}{MX}$	= 19,5	18,7	17,9	17,0
La proportion de vapeur condensée pour 100 de vapeur sensible	$100\frac{\Pi}{MX-\Pi}$	= 24,2	23,0	21,8	20,5

Le poids de vapeur condensée intérieurement est ici compris entre $0^k,0182$ et $0^k,0154$, soit entre 24,2 et 20,5 p. 100 du poids de vapeur sensible. Il est notablement plus faible par rapport au poids de vapeur sensible, que dans la marche précédente.

Le travail moteur disponible est égal à 2.505 kilogrammètres.

Le nombre de calories dépensées par coup est de

$$488{,}55\,MX + 148{,}86\,M.$$

Pour. . . . . $X =$	0,85	0,80	0,75	0,70
Ce nombre de calories est	$61^c,09$	$61^c,51$	$62^c,03$	$62^c,67$
soit par cheval et par heure	6585^c	6620^c	6672^c	6741^c

Ainsi, malgré une détente moins prolongée, l'utilisation des calories développées dans la chaudière est meilleure avec cette marche qu'avec la précédente. Ce résultat doit être attribué à deux causes : 1° à ce que la condensation intérieure est ici notablement moins forte; 2° à ce que dans le diagramme n° 3, la compression est exagérée et consomme inutilement une portion du travail moteur.

27. *Diagramme* n° 5. — Les données sont :

Pression dans la chaudière.	$7^{atm},5$
Vitesse.	19^k
Admission.	25 %
Échappement. . . . . } Compression. . . . . }	31 %
Ouverture des lumières.	$8^{mm}\ 1/2$

Les valeurs de comparaison sont :

$$P_0' = 60851 \qquad V_0' = 0{,}037973$$
$$P_1' = 40460 \qquad V_1' = 0{,}056257$$
$$P_1 = 29622 \qquad V_1 = 0{,}075987$$

On en déduit :

$$\frac{1}{\mu'} = 0,9631007 \qquad \mu' = 1,038313$$

$$\frac{1}{\mu''} = 0,9635734 \qquad \mu'' = 1,07803$$

L'équation (15) donne une valeur de V_2 approchée par excès ; on se servira donc de l'équation (16) dont les constantes sont :

$$m = 0,00349084$$
$$\alpha = 0,9791831$$

et qui donne $V_2 = 0^{m^3}21021$ par excès.

On remarquera que l'exposant $\frac{1}{\mu}$ varie très-peu. Si donc nous calculons V_2 en nous servant de l'exposant $\frac{1}{\mu''}$ dans la formule de Rankine $V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{1}{\mu''}}$, nous aurons une valeur de V qui sera très-approchée, et approchée par défaut. On trouve ainsi :

$$V_2 = 0,20962.$$

Le volume final V_2 est donc certainement compris entre 0,21021 et 0,20962, ce qui nous assure une approximation très-favorable.

Faisant $V_2 = 0,21021$ on trouve $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 2250^{\text{km}}$.

On a aussi pour $P = P_0 = 79038 \qquad V_0 = 0,029523$

d'où $P_0(V_0 - v) = 1847^{\text{km}}$.

Le diagramme donne :

$$\mathcal{E}_1 = 2204^{\text{km}}; \qquad \text{d'où} \qquad \mathcal{E}_2 = 4454^{\text{km}}.$$
$$\mathcal{E}_2'' = 960^{\text{km}}.$$
$$V_2' = 0,03730$$

On a par les tables :

$$q_0 = 168,95$$
$$r_0 = 487,061$$
$$\frac{r_0}{u_0} = 1996,4$$

Les équations (29) (30) et (31) deviennent, toutes réductions opérées et en faisant $R = 0,239$:

$$(487,061X + 68,45)M = 64,835$$
$$C = 487,061\,(MX - 0,0958)$$
$$\Pi = MX - 0,0958.$$

Faisant successivement	X	= 0,85	0,80	0,75	0,70
Nous trouvons. . . .	M	= 0k,1344	0k,1415	0k,1495	0k,1584
	MX	= 0k,1142	0k,1132	0k,1121	0k,1109
	C	= 8c,96	8c,47	7c,96	7c,35
	Π	= 0k,0184	0k,0174	0k,0163	0k,0151
	$100\,\frac{\Pi}{MX}$	= 16,1	15,3	14,5	13,6
	$\frac{100\,\Pi}{MX-\Pi}$	= 19,2	18,1	17,0	15,8

Le travail moteur brut disponible sur le piston est de 3.022 kilogrammètres.

Le nombre de calories dépensées par coup est :

$$487,061\,MX + 148,45\,M.$$

Pour	X = 0,85	0,80	0,75	0,70
Ce nombre de calories est	73c,76	74c,32	75c,00	75c,71
soit enfin par cheval et par heure	6.590c	6.639c	6.699c	6.762c

La consommation de calories par cheval et par heure est ici à très-peu près la même que dans la marche précédente.

28. *Diagramme n° 6.* — Les données sont :

Pression dans la chaudière.	$7^{atm},25$
Vitesse.	18^k
Admission.	0,35 %
Échappement.	0,25 %
Compression.	0,25 %
Ouverture des lumières.	10^{mm}

Les valeurs de comparaison sont

$$P_0' = 59565 \qquad V_0' = 0,046295$$
$$P_1' = 44502 \qquad V_1' = 0,061869$$
$$P_1 = 32745 \qquad V_1 = 0,083787.$$

Elles donnent :

$$\frac{1}{\mu'} = 0,9946877 \qquad \mu' = 1,00534$$
$$\frac{1}{\mu''} = 0,9915194 \qquad \mu'' = 1,00855$$

Il y a lieu d'appliquer la formule

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\alpha + m \log P}$$

dont les constantes sont :

$$\alpha = 0,8841745$$
$$m = 0,023780$$

Elle donne :

$$V_0 = 0^{m^3},037027 \qquad V_2 = 0^{m^3},25749 \text{ (par excès)}$$
$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 3000^{kgm}$$

Le diagramme donne :

$$\mathcal{E}_1 = 2736^{kgm}$$
$$\mathcal{E}_2'' = 743^{kgm}$$
$$V_2' = 0,03672$$
$$P_2' = 53503^{kg}$$

On en déduit :

$$\mathfrak{E}_2 = 5736^{\text{kgm}}$$

et

$$P_0(V_0 - v) = 2304^{\text{kgm}}$$

Les tables donnent :

$$q_0 = 168{,}551 \quad \text{et} \quad q_2' = 155{,}092$$

$$r_0 = 488{,}765 \qquad \frac{\rho_2'}{u_2} = 1315{,}4$$

$$\frac{r_0}{u_0} = 1862{,}9$$

$$\frac{\rho_0}{u_0} = 1729{,}3$$

Les équations (29) (30) et (31) deviennent, toutes réductions opérées, et en faisant $R = 0{,}240$:

$$(488{,}765X + 68{,}051)M = 84{,}079$$

$$C = 488{,}765MX - 61{,}667$$

$$\Pi = MX - 0{,}1257.$$

Faisons successivement	X	= 0,85	0,80	0,75	0,70
On a	M	= $0^k{,}1739$	$0^k{,}1831$	$0^k{,}1935$	$0^k{,}2050$
	MX	= $0^k{,}1478$	$0^k{,}1465$	$0^k{,}1451$	$0^k{,}1435$
	C	= $10^c{,}802$	$10^c{,}167$	$9^c{,}483$	$8^c{,}701$
	Π	= $0^k{,}0221$	$0^k{,}0208$	$0^k{,}0194$	$0^k{,}0178$
	$\frac{100\Pi}{MX}$	= 14,9	14,2	13,3	12,4
	$\frac{100\Pi}{MX-\Pi}$	= 17,6	16,6	15,6	14,2

Le poids de vapeur condensée est donc un peu plus fort que dans la marche précédente, pour une même valeur de X.

Le travail moteur brut disponible sur le piston est de 3.923 kilogrammètres.

Le nombre de calories dépensées est de

$$488{,}765\,MX + 148{,}551\,M.$$

Il est donc pour	$X = 0{,}85$	$0{,}80$	$0{,}75$	$0{,}70$
de	$98^c{,}08$	$98^c{,}79$	$99^c{,}67$	$100^c{,}59$
soit par cheval et par heure de	6.495^c	6.542^c	6.600^c	6.661^c

La consommation en calories par cheval et par heure est donc ici un peu moindre que dans les marches précédentes. La différence est d'ailleurs faible et peut provenir des erreurs d'observation.

29. *Diagramme* n° 7. Les données sont :

Pression dans la chaudière.	8^{atm}
Vitesse.	15^k
Admission.	40 %
Échappement. . . . . Compression.	22 %
Ouverture des lumières.	$12^{mm}\ 1/2$

Les valeurs de comparaison sont :

$$P_0' = 69.669 \qquad V_0' = 0{,}049455$$
$$P_1' = 49.462 \qquad V_1' = 0{,}067354$$
$$P_1 = 38.624 \qquad V_1 = 0{,}085254.$$

On en déduit :

$$\frac{1}{\mu'} = 0{,}9017614$$
$$\frac{1}{\mu''} = 0{,}9231884$$

Les constantes de la formule

$$V = V_0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\alpha - m \log P}$$

qu'il faut appliquer dans l'espèce, sont :

$$\alpha = 1{,}8381730$$
$$m = 0{,}19948$$

Elles donnent :

$$V_0 = 0{,}043597 \quad \text{d'où} \quad P_0(V_0 - v) = 3015^{\text{kgm}}$$
$$V_2 = 0^{\text{m}^3}{,}35808$$
$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 5013^{\text{kgm}}$$

On a d'ailleurs par le diagramme

$$\mathcal{E}_1 = 2239^{\text{kgm}} \qquad \mathcal{E}_2'' = 684^{\text{kgm}} \qquad V_2' = 0{,}03357$$

d'où

$$\mathcal{E}_2 = 7252^{\text{kgm}}$$

Les tables donnent $P_0 = 80507$ et $P_2' = 54422$.

$$q_0 = 171{,}752 \qquad q_2' = 155{,}762$$
$$r_0 = 486{,}507 \qquad \frac{\rho_2'}{u_2'} = 1313$$
$$\frac{\rho_0}{u_0} = 1847$$

Les équations (29) (30) et (31) donnent, toutes réductions opérées et en faisant $R = 0{,}242$:

$$(486{,}507X + 71{,}252)M = 120{,}43$$
$$\Pi = MX - 0{,}1635$$
$$C = MXr_0 - 79{,}54$$

d'où l'on tire :

pour	X	$= 0{,}85$	$0{,}80$	$0{,}75$	$0{,}70$
	M	$= 0^{\text{k}}{,}2484$	$0^{\text{k}}{,}2615$	$0^{\text{k}}{,}2761$	$0^{\text{k}}{,}2924$
	MX	$= 0^{\text{k}}{,}2111$	$0^{\text{k}}{,}2092$	$0^{\text{k}}{,}2070$	$0^{\text{k}}{,}2047$
	C	$= 23^{\text{c}}{,}15$	$22^{\text{c}}{,}23$	$21^{\text{c}}{,}16$	$20^{\text{c}}{,}04$
	Π	$= 0^{\text{k}}{,}0476$	$0^{\text{k}}{,}0457$	$0^{\text{k}}{,}0435$	$0^{\text{k}}{,}0412$
	$100\,\frac{\Pi}{MX}$	$= 22{,}5$	$21{,}8$	$21{,}0$	$20{,}1$
	$100\,\frac{\Pi}{MX - \Pi}$	$= 29{,}1$	$27{,}9$	$26{,}6$	$25{,}2$

La condensation intérieure serait donc ici notablement plus forte non-seulement intrinsèquement, mais encore proportionnellement que dans les marches précédentes. Toutefois, comme le volume final V_2 est trois fois plus

grand que le volume total décrit par le piston, l'approximation obtenue par la méthode de calcul est moins sûre que dans les cas précédents et nous ne sommes pas certain de l'exactitude des chiffres obtenus pour M et pour Π.

Le travail moteur brut sur le piston est de 4.576 kilogrammètres.

La chaleur apportée dans le cylindre par le mélange de vapeur et d'eau venant de la chaudière est :

$$486{,}507MX + 151{,}752M.$$

Elle est pour	X = 0,85	0,80	0,75	0,70
de	140°,41	141°,46	142°,63	143°,95
ou par cheval et par heure	8.345°	8.412°	8.480°	8.569°

Cette marche serait donc moins avantageuse que la précédente au point de l'utilisation de la chaleur.

30. Nous résumerons dans le tableau suivant les principaux résultats que nous venons d'obtenir au moyen des diagrammes de la locomotive n° 852, en supposant que la proportion d'eau entraînée soit de 20 p. 100. Nous y ajouterons la consommation du combustible par kilomètre H. On la déduit de la quantité de chaleur fournie par coup de piston en supposant qu'un kilogramme de combustible vaporise 7 kil. d'eau à 168°, l'eau d'alimentation étant à 20°, ce qui correspond à 4.466 calories $H = \frac{K}{4.466} \cdot \frac{4.000}{\varpi \cdot 1{,}35}$.

Nous ne consignerons pas dans ce tableau les résultats fournis par le calcul du diagramme 7 (admission de 40 p. 100) et qui sont douteux.

ADMISSION RÉELLE p. 100.	TRAVAIL BRUT par coup de piston.	POIDS DE VAPEUR et d'eau par coup de piston M	POIDS DE VAPEUR fournie par coup de piston MX	POIDS DE VAPEUR condensée intérieurement II	PROPORTION de vapeur condensée p. 100 de vapeur sensible.	CONSOMMATION de calories par coup de piston K	CONSOMMATION de calories par cheval et par heure.	HOUILLE BRULÉE par kilomètre H
	kgm.	kilog.	kilog.	kilog.	p. 100.	cal.	cal.	kilog.
12,3	1573	0,814	0,0651	0,0156	31,5	43,93	7540	9,27
18,6	2505	0,1157	0,0925	0,0173	23,0	61,51	6620	12,98
22,6	3022	0,1415	0,1132	0,0174	18,1	74,32	6639	15,68
29,9	3923	0,1831	0,1465	0,0208	16,6	98,79	6542	20,85

De la comparaison de ces chiffres il résulte que dans la machine que nous avons étudiée :

La condensation intérieure va en augmentant à mesure que l'admission augmente, mais elle n'augmente pas proportionnellement à cette dernière ;

Le rapport du poids de vapeur condensée intérieurement au poids de vapeur sensible va en diminuant à mesure que l'admission augmente et est compris entre 31,5 et 16,6 p. 100 pour des admissions comprises entre 12 et 30 p. 100 ;

Par l'effet de la condensation intérieure, l'utilisation de la chaleur fournie par la chaudière ne varie pas sensiblement quand l'admission varie de 20 à 30 p. 100, et elle est intrinsèquement très-satisfaisante puisque la consommation par cheval et par heure est de 6.600 calories, ce qui correspond à $1^k,5$ seulement de houille brûlée. Ce résultat, qui n'est atteint que dans les bonnes machines à condensation, provient des hautes pressions auxquelles on marche sur les locomotives, et qui donnent un écart considérable entre la température de la vapeur d'admission et la température finale de l'échappement.

31. La connaissance de la quantité de vapeur consommée par coup de piston, calculée d'après le diagramme, permet de résoudre le problème de la détermination de la puissance de traction de la locomotive à une vitesse déter-

minée, pourvu que l'on connaisse la production de vapeur de la chaudière par mètre carré et par heure.

Sur le réseau d'Orléans, une expérience faite entre Juvisy et Bretigny (distance 19 kilomètres, rampe de $3^{mm},50$), avec la machine 917 (du même type que la machine 852), remorquant un train de 590 tonnes et marchant à 30 kilomètres à l'heure avec une admission moyenne de 35 p. 100 sous une pression sensiblement égale à celle du timbre, a donné une dépense de vapeur de 30 kil. par heure et par mètre carré de surface de chauffe. Il est probable que la dépense de vapeur a été calculée sur la *vapeur sensible* et non sur la vapeur réellement fournie par la chaudière. Ce mode de calcul donnerait un chiffre de vaporisation inférieur au chiffre réel de 16 à 17 p. 100, d'après le tableau précédent.

Néanmoins, on admet sur le réseau d'Orléans que, dans des conditions de travail normal, la production de vapeur ne dépasse pas 25 kilog. par mètre carré et par heure, à la vitesse de 23 kilom. à l'heure.

Prenons ce chiffre de 25 kilog., majoré de 16,6 p. 100, soit $29^{k},15$. La surface de chauffe de la machine n° 852 étant de $147^{mq},915$, la production totale de vapeur par heure est de 4.312 kilog.

Admettons en outre que la résistance due au mécanisme et à l'accouplement des roues soit de $10^{k},50$ par tonne de machine et de tender, soit dans l'espèce de 577 kilog.

Soit $\mathcal{E}$ le travail brut sur le piston à une admission déterminée ; la puissance de traction sera $\frac{4\mathcal{E}}{\pi D} - 577$, la vitesse correspondante exprimée en kilomètres par heure sera $\frac{4.312\pi D}{4.000MX}$ ou $\frac{45,707}{MX}$.

On trouve ainsi :

ADMISSION RÉELLE.	PUISSANCE de traction.	VITESSE en kilom. par heure.
p. 100.	kilog.	kilomètres.
12,3	636	70,2
18,6	1785	49,4
22,6	2272	40,3
29,9	3122	31,2

La vitesse de $70^k,2$ ne pourrait évidemment être atteinte par cette machine sans danger pour le mécanisme. Le livret des charges de la compagnie indique que les machines de ce type peuvent remorquer 503 tonnes sur une rampe de $0^m,0035$ à la vitesse de $31^k,2$ à l'heure. D'après la formule donnée par MM. Guebhard et Dieudonné pour la résistance des trains, cette charge de 503 tonnes remorquée sur rampe de $0^m,0035$ correspond à une puissance de traction de 3.370 kilog., chiffre qui diffère peu de celui auquel nous sommes parvenu par des considérations et des calculs tout à fait différents de ceux qui ont guidé les ingénieurs de la compagnie d'Orléans dans la rédaction de leur livret.

32. En résumé, la méthode que nous proposons permet de calculer avec une approximation suffisante dans la pratique, et pour des admissions telles que la pression finale de la détente ne dépasse pas le triple de la contre-pression :

1° Le poids réel du mélange de vapeur et d'eau fourni par la chaudière à chaque coup de piston, quand on connaît la proportion d'eau entraînée avec la vapeur ;

2° La proportion d'eau entraînée quand on connaît le poids total d'eau fourni par l'alimentation ;

3° La consommation *en calories* pour un travail déterminé, c'est-à-dire la véritable mesure industrielle de l'utilisation de la vapeur ;

4° S'il s'agit d'une locomotive, la quantité d'eau réellement vaporisée par la chaudière pendant un temps donné

et la puissance de traction qui en résulte pour la machine à une vitesse déterminée.

Pour des admissions supérieures à celles auxquelles s'applique notre méthode de calcul, on devra déterminer par une expérience préalable faite à une admission moindre, la proportion d'eau entraînée, et l'on pourra ensuite, par la seule mesure de la quantité d'eau fournie par l'alimentation, et en admettant que la quantité d'eau entraînée ne varie pas, appliquer les formules donnant la consommation en calories et la vaporisation.

L'exactitude des résultats à atteindre est subordonnée à celle des données prises sur le diagramme. Il est donc nécessaire que la courbe tracée par celui-ci soit aussi régulière que possible et que l'échelle des pressions soit assez grande. L'indicateur Desprez, récemment expérimenté sur le chemin de fer du Nord, et qui donne la courbe moyenne résultant d'un certain nombre de coups de piston successifs, paraît devoir être très-utilement appliqué dans les recherches de cette nature.

Paris, le 10 avril 1877.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA FRANCE.

PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, DES FERS, DES TÔLES ET DES ACIERS PENDANT L'ANNÉE 1876 (*).

I. COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

Tableau de la production.

DÉPARTEMENTS.	PRODUITS DES EXPLOITATIONS distingués en trois catégories.			
	Anthracite.	Houille.	Lignite.	Totaux.
	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.
Ain	»	»	6.455	6.455
Allier	63.600	9.951.054	»	10.014.654
Alpes (Basses-)	»	253.152	134.902	388.054
Alpes (Hautes-)	73.000	»	»	73.000
Ardèche	83.459	42.608	7.223	133.290
Aude	»	»	4.000	4.000
Aveyron	»	7.178.569	45.762	7.224.331
Bouches-du-Rhône	»	»	3.521.100	3.521.100
Calvados	»	113.306	»	113.306
Cantal	»	18.198	»	18.198
Corrèze	»	37.737	»	37.737
Côte-d'Or	26.000	»	»	26.000
Creuse	42.750	2.150.828	»	2.193.578
Dordogne	»	»	3.590	3.590
Drôme	»	»	9.111	9.111
Gard	»	16.427.438	173.636	16.601.074
Hérault	101.665	2.662.766	9.543	2.773.974
Isère	1.123.970	»	21.300	1.145.270
Loire	45.556	34.717.183	»	34.762.739
Loire (Haute-)	»	1.776.989	»	1.776.989
Loire-Inférieure	239.000	»	»	239.000
Lot	»	12.097	»	12.097
Maine-et-Loire	441.293	»	»	441.293
Mayenne	947.961	34.454	»	982.415
Nièvre	»	1.626.430	»	1.626.430
Nord	5.808.294	27.347.457	»	33.155.751
Pas-de-Calais	»	33.119.892	»	33.119.892
Puy-de-Dôme	187.713	1.975.222	»	2.162.935
A reporter	9.184.261	139.445.380	3.936.622	152.566.263

(*) Ces tableaux sont tirés des états qui ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal officiel* (numéro du 2 mai 1877) et qui sont dressés à l'aide des documents fournis par les Ingénieurs des Mines

Tableau de la production (suite).

DÉPARTEMENTS.	PRODUITS DES EXPLOITATIONS distingués en trois catégories.			
	Anthracite.	Houille.	Lignite.	Totaux.
	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.
Report.	9.184.261	139.445.380	3.936.622	152.566.263
Pyrénées (Basses-).	2.000	»	»	2.000
Pyrénées (Hautes-).	»	»	10.000	10.000
Rhône.	»	332.103	»	332.103
Saône (Haute-).	»	1.998.332	113.549	2.111.881
Saône-et-Loire.	1.536.225	10.048.687	»	11.584.912
Sarthe.	242.719	»	»	242.719
Savoie.	226.690	»	»	226.690
Savoie (Haute-).	1.717	»	53.117	54.834
Sèvres (Deux-).	»	197.043	»	197.043
Tarn.	»	2.571.700	»	2.571.700
Var.	38.000	122.000	54.000	214.000
Vaucluse.	»	»	83.637	83.637
Vendée.	»	248.776	»	248.776
Vosges.	»	»	31.055	31.055
Totaux.	11.231.612	154.964.021	4.281.980	170.477.613

Tableau de la production par bassin.

NOMS DES BASSINS.	NOMS DES DÉPARTEMENTS dans lesquels les bassins sont situés.	PRODUCTION.
		quint métr.
Valenciennes.	Nord. Pas-de-Calais.	65.332.909
Loire.	Loire. Rhône.	34.717.183
Alais.	Ardèche. Gard.	16.448.387
Creuzot et Blanzy.	Saône-et-Loire.	9.905.876
Commentry.	Allier.	9.219.227
Aubin.	Aveyron.	7.046.129
Aix.	Bouches-du-Rhône. Var.	3.545.100
Graissessac.	Hérault.	2.757.831
Carmaux.	Tarn.	2.571.700
Ahun.	Creuse.	2.150.828
Brassac.	Loire (Haute-). Puy-de-Dôme.	2.020.896
Ronchamp.	Saône (Haute-).	1.998.332
Saint-Eloy.	Puy-de-Dôme.	1.722.765
Decize.	Nièvre.	1.626.430
Epinac.	Saône-et-Loire.	1.490.170
Le Maine.	Mayenne. Sarthe.	1.190.680
Le Drac.	Isère.	1.086.520
Hardinghem.	Pas-de-Calais.	942.734
Basse-Loire.	Loire-Inférieure. Maine-et-Loire.	680.293
	A reporter.	166.453.990

Tableau de la production par bassin (suite).

NOMS DES BASSINS.	NOMS DES DÉPARTEMENTS dans lesquels les bassins sont situés.	PRODUCTION.
		quint. métr.
	Report.	166.453.990
Vouvant et Chantonnay. . . .	Sèvres (Deux-). . . . . Vendée.	445.819
Buxière-la-Grue.	Allier.	437.282
Manosque.	Alpes (Basses-). . . . . Vaucluse.	388.054
Bert.	Allier.	358.145
Sainte-Foy-l'Argentière.	Rhône.	332.103
Maurienne-Tarentaise et Briançon.	Alpes (Hautes-). . . . . Savoie.	299.690
La Chapelle-sous-Dun.	Saône-et-Loire.	185.866
Langeac.	Loire (Haute-).	171.463
Fréjus.	Var.	160.000
Rodez.	Aveyron.	132.449
Bagnols.	Gard.	125.740
Gouhenans.	Saône (Haute-).	113.549
Littry.	Calvados.	113.306
Aubenas.	Ardèche.	83.459
Orange.	Vaucluse.	67.928
Entrevernes.	Savoie (Haute-).	54.834
Milhau.	Aveyron.	45.762
Roanne.	Loire.	45.556
Bourganeuf.	Creuse.	42.750
Saint-Pierre-la-Cour.	Mayenne.	34.454
Norroy.	Vosges.	31.055
Communay.	Isère.	30.900
La Cadière.	Var.	30.000
Sincey.	Côte-d'Or.	26.000
Terrasson.	Corrèze. . . . . Dordogne.	24.800
Bourg-Lastic.	Puy-de-Dôme.	24.800
Barjac.	Gard.	23.647
Le Vigan.	Gard.	21.659
La Tour-du-Pin.	Isère.	21.300
Célas.	Gard.	20.000
Champagnac.	Cantal.	18.198
Méthamis.	Vaucluse.	15.709
La Caunette.	Aude. . . . . Hérault.	13.543
Saint-Perdoux.	Lot.	12.097
Orignac.	Pyrénées (Hautes-).	10.000
Montélimart.	Drôme.	9.111
Meimac.	Corrèze.	7.000
Vagnas.	Ardèche.	6.693
Roujan.	Hérault.	6.600
Oisans.	Isère.	6.500
Douvres.	Ain.	6.455
Argentat.	Corrèze.	5.937
Trévezel.	Gard.	4.249
Simeyrols.	Dordogne.	3.590
Forges.	Saône-et-Loire.	3.000
Ibantelly.	Pyrénées (Basses-).	2.000
Banc-Rouge.	Ardèche.	530
Graisivaudan.	Isère.	50
	Totaux.	170.477.613

II. INDUSTRIE SIDÉRURGIQUE.

Tableau de la production des fontes.

DÉPARTEMENTS.	FONTE au combustible végétal.	FONTE aux deux combustibles.	FONTE au combustible minéral.	PRODUCTION totale.
	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.
Allier.	»	»	947.730	947.730
Ardèche.	»	»	808.597	808.597
Ardennes.	22.700	»	120.000	142.700
Ariége.	»	31.720	177.475	209.195
Aube.	1.200	»	»	1.200
Aveyron.	»	»	297.230	297.230
Bouches-du-Rhône	»	»	225.000	225.000
Cher.	73.180	139.495	138.510	351.185
Corse.	48.000	»	»	48.000
Côte-d'Or.	23.200	»	87.000	110.200
Côte-du-Nord.	9.350	5.400	»	14.750
Dordogne.	54.900	»	»	54.900
Doubs.	30.677	»	»	30.677
Eure.	»	»	43.520	43.520
Gard.	»	»	854.868	854.868
Gironde.	55.000	»	»	55,000
Ille-et-Vilaine.	19.790	»	»	19.790
Indre.	39.970	»	»	39.970
Isère.	9.671	»	211.298	220.969
Jura.	»	»	297.310	297.310
Landes.	152.135	»	»	152.135
Loire	»	»	467.895	467.895
Loire-Inférieure.	3.000	»	80.600	83.600
Lot-et-Garonne.	8.000	»	120.000	128.000
Marne.	»	»	29.226	29.226
Marne (Haute-).	117.848	464.977	258.368	841.193
Mayenne.	»	20.553	»	20.553
Meurthe-et-Moselle.	28.538	»	3.239.421	3.267.959
Meuse.	44.100	27.050	105.000	176.150
Morbihan.	25.350	»	»	25.350
Nord.	»	»	1.486.525	1.486.525
Pas-de-Calais.	»	»	602.390	602.390
Pyrénées-Orientales.	79.074	»	»	79.074
Rhône.	»	»	697.937	697.937
Saône (Haute-).	128,735	»	»	128.735
Saône-et-Loire.	»	»	1.506.924	1.506.924
Sarthe.	»	8.422	»	8.422
Savoie.	2.850	»	»	2.850
Tarn-et-Garonne.	»	53.500	»	53.500
Totaux.	977.268	751.117	12.766.992	14.495.377

Tableau de la production des fers.

DÉPARTEMENTS.	FER au combustible végétal.	FER aux deux combustibles.	FER au combustible minéral. Rails.	FER au combustible minéral. Autres fers que les rails.	FER au combustible minéral. Totaux.	PRODUCTION totale.
	q. métr.	q. métr.	q. métr.	q. métr.	q. métr.	q. métr.
Allier	»	29.500	34.500	183.990	218.490	247.990
Ardennes	»	2.150	1.500	345.000	346.500	348.650
Ariége	600	»	»	86.950	86.950	87.550
Aube	»	20.900	»	49.006	49.006	69.906
Aveyron	»	»	295.780	72.470	368.250	368.250
Bouches-du-Rhône	»	»	»	13.400	13.400	13.400
Charente	4.950	»	»	1.800	1.800	6.750
Cher	»	14.645	»	19.951	19.951	34.596
Corse	12.000	»	»	»	»	12.000
Côte-d'Or	28.850	3.100	»	118.500	118 500	150.450
Côtes-du Nord	965	»	»	24.041	24.041	25.006
Dordogne	15.960	12.920	»	15.943	15.943	44.823
Doubs	29.987	»	»	2.425	2.425	32.412
Finistère	»	»	»	4.767	4.767	4.767
Gard	»	»	29.600	226.278	255.878	255.878
Garonne (Haute-)	»	»	»	17.000	17.000	17.000
Gironde	»	»	»	9.442	9.442	9.442
Ille-et-Vilaine	»	1.550	»	»	»	1.550
Indre	4.965	11.960	»	»	»	16.925
Isère	»	8.005	3.540	61.600	65.140	73.145
Jura	»	1.720	1.320	164.070	165.390	167.110
Landes	17.184	8.382	»	»	»	25.566
Loir-et-Cher	2.350	»	»	»	»	2.350
Loire	»	»	55.350	514.551	569.901	569.901
Loire-Inférieure	»	»	»	66.500	66.500	66.500
Marne (Haute-)	»	5.730	»	816.296	816.296	822.026
Mayenne	130	»	»	»	»	130
Meurthe-et-Moselle	8.160	7.490	»	552.743	552.743	568.393
Meuse	»	»	»	125.000	125.000	125.000
Nièvre	»	22.703	15.091	165.343	180.434	203.137
Nord	»	»	197.468	1.580.875	1.778.343	1.778.343
Oise	»	»	»	166.653	166.653	166.653
Orne	1.900	»	»	»	»	1.900
Pas-de-Calais	»	»	»	6.000	6.000	6.000
Pyrénées (Basses-)	4.432	»	»	»	»	4.432
Rhin (Haut-), territoire de Belfort	11.313	»	»	»	»	11.313
Saône (Haute-)	10.860	9.710	»	»	»	20.570
Saône-et-Loire	»	»	140.052	369.873	509.925	509.925
Sarthe	1.442	»	»	»	»	1.442
Savoie	1.255	»	»	»	»	1.255
Savoie (Haute-)	2.500	2.500	»	3.260	3.260	7.960
Seine	»	»	»	240.400	240.400	240.400
Seine-Inférieure	»	»	»	6.040	6.040	6.040
Seine-et-Oise	»	»	»	25.085	25.085	25.085
Somme	»	»	»	8.300	8.300	8.300
Tarn	»	»	»	7.264	7.264	7.264
Tarn-et-Garonne	6.250	»	»	43.500	43.500	49.750
Vienne	1.600	»	»	»	»	1.600
Vosges	17.075	»	»	»	»	17.075
Yonne	296	»	»	96.510	96.510	96.806
Totaux	185.024	162.665	774.201	6.210.826	6.985.027	7.332.716

Tableau de la production des tôles.

DÉPARTEMENTS.	TOLES produites avec des fers fabriqués au combustible végétal.	aux deux combustibles.	au combustible minéral.	PRODUCTION totale.
	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.	quint. métr.
Aisne	»	»	8.750	8.750
Allier	»	22.990	57.150	80.140
Ardennes	21.000	31.700	128.000	180.700
Aveyron	»	»	29.920	29.920
Côte-d'Or	2.000	»	11.000	13.000
Doubs	26.500	»	7.733	34.233
Isère	»	»	10.590	10.590
Jura	3.960	»	40.366	44.326
Loire	»	»	161.451	161 451
Marne (Haute-)	»	»	49.012	49.012
Morbihan	20.403	»	10.292	30.695
Nièvre	»	13.619	»	13.619
Nord	»	»	189 941	189.941
Oise	7.451	23.643	78 897	109.991
Saône (Haute-)	10.180	»	»	10.180
Saône-et-Loire	16.380	»	151.694	168.074
Savoie (Haute-)	120	»	4.100	4.220
Vosges	12.525	»	»	12.525
Totaux	120.519	91.952	938.896	1.151.367

Tableau de la production des aciers.

DÉPARTEMENTS.	ACIERS de forge.	ACIERS puddlés.	ACIERS Bessemer et Martin.	ACIERS de cémentation.	PRODUCTION totale des aciers de forge, puddlés, Bessemer et Martin, et de cémentation.	ACIERS fondus.
	q. m.	q. m.	q. m.	q. m.	quint. métr.	q. m.
Allier	»	»	214.360	»	214.360	»
Ardennes	»	»	»	150	150	470
Ariége	200	16.809	»	1.011	18.020	214
Charente	»	»	7.700	»	7.700	»
Côtes-du-Nord	»	172	»	76	248	109
Finistère	»	»	»	»	»	41
Gard	»	»	279.810	»	279.810	»
Garonne (Haute-)	»	»	»	8.400	8.400	»
Isère	1.550	44.800	7.330	1.450	55.130	1.240
Loire	»	116.672	799.516	15.551	931.739	65.604
Meurthe-et-Moselle	»	10.300	»	»	10.300	»
Nièvre	»	3.614	59.017	»	62.631	8.975
Nord	»	»	208.357	»	208.357	»
Rhône	»	»	173.394	»	173.394	»
Saône (Haute-)	»	»	»	235	235	206
Saône-et-Loire	»	»	569.628	»	569.628	»
Seine	»	»	875	»	875	»
Tarn	»	»	»	931	931	»
Totaux	1.750	192.367	2.319.987	27.804	2.541.908	76.859

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE

POUR LES ANNÉES

I. — PRODUCTION

ANNÉE 1874.

NATURE des matières extraites.	POIDS.	VALEUR totale.	VALEUR par tonne.	NOMBRE de mines en exploitation.	NOMBRE d'ouvriers employés sous terre.	NOMBRE d'ouvriers employés au jour. Hommes.	NOMBRE d'ouvriers employés au jour. Femmes.	NOMBRE d'ouvriers employés Total.	des femmes et des enfants [illegible]
	tonnes.	francs.	francs.						
Houille.	31.938.683	421.755.652	13,20	439	129.422	29.608	2.472	161.502	[illegible]
Lignite.	8.716.649	39.334.807	4,52	533	12.343	6.188	114	18.645	[illegible]
Asphalte.	23.768	459.510	19,32	2	»	88		88	[illegible]
Huile minérale.	38	31.050	806,50	3	»	12		12	[illegible]
Minerai de fer.	2.540.885	24.906.191	9,80	919	17.516	5.121	1.134	23.771	[illegible]
— de zinc.	443.525	13.675.924	30,82	64	5.383	2.071	1.516	8.970	[illegible]
— de plomb.	99.602	22.657.856	227,50	83	9.428	7.098	901	17.427	[illegible]
— de cuivre.	255.296	7.814.936	30,60	14	5.536	1.120	9	6.665	[illegible]
— d'argent et d'or.	6	127.492	22.917,00	»	»			»	
— de cobalt.	254	178.785	703,90	2	66	5	»	71	[illegible]
— de nickel.	305	19.031	62,35	2	13	14	»	27	[illegible]
— d'antimoine	11	2.081	18,18	3	5	4	»	9	[illegible]
— d'arsenic.	2.347	29.343	12,50	1	76	22	»	98	[illegible]
— de manganèse.	12.187	782.351	64,20	42	384	183	93	660	[illegible]
Pyrite de fer.	126.796	3.035.426	23,95	14	732	216	9	957	[illegible]
Minerais vitrioliques et alunifères.	32.536	185.441	5,70	6	74	86	»	160	[illegible]
Sel gemme.	76.897	751.260	9,77	2	192	160	»	352	[illegible]
Sels potassiques	127.990	1.221.577	9,55	2	234	186	»	420	[illegible]
Sels de magnésie.	18	34.770	1.900,00	»	»	»	»	»	»
Totaux.	44.397.793	537.003.153	»	2.151	181.404	52.182	6.248	239.834	[illegible]

Les chiffres qui figurent dans la cinquième colonne des tableaux ci-dessus, n'indiquent que les mines donnant lieu à une production effective, et affectées spécialement à l'exploitation de la substance minérale qui se trouve désignée dans la colonne de gauche; ainsi les mines qui ont produit les minerais d'argent et d'or sont comptées dans les mines de plomb; celles qui ont produit les sels de magnésie sont exploitées spécialement en vue de l'extraction du sel gemme; de même une partie des minerais de plomb, de cuivre, de nickel, etc., ont été extraits comme produits secondaires dans des mines exploitées pour d'autres substances.

MINÉRALE DE LA PRUSSE

1874 ET 1875 (*).

DES MINES.

NATURE des matières extraites.	POIDS.	VALEUR totale.	VALEUR par tonne.	NOMBRE de mines en exploitation.	NOMBRE d'ouvriers employés sous terre.	NOMBRE d'ouvriers employés au jour. Hommes.	NOMBRE d'ouvriers employés au jour. Femmes.	NOMBRE d'ouvriers employés Total.	NOMBRE des femmes et des enfants des ouvriers.
ANNÉE 1875.									
	tonnes.	francs.	francs.						
Houille	33.419.299	318.240.701	9,52	442	127.117	30.386	2.199	159.702	271.286
Lignite	8.340.259	36.956.776	4,42	525	10.593	7.835	110	18.538	45.435
Asphalte	20.500	307.500	15,00	2	»	215	»	215	645
Huile minérale	38	31.050	806,50	3	»	12	»	12	25
Minerai de fer	2.594.422	24.126.014	9,30	730	15.375	4.932	1.309	21.616	42.036
— de zinc	465.209	15.786.025	33.92	65	5.063	1.874	1.307	8.244	13.213
— de plomb	107.877	26.021.742	241,22	91	9.594	7.368	915	17.877	33.436
— de cuivre	273.954	8.264.209	30,17	18	5.480	1.115	8	6.603	12.914
— d'argent et d'or	6	89,936	15.641.10	»	»	»	»	»	»
— de cobalt	200	98.931	494,72	3	78	5	»	83	214
— de nickel	222	44.264	199,00	2	10	6	»	16	25
— d'antimoine	15	3.119	201,85	1	5	4	»	9	22
— d'arsenic	2.302	103.625	45,00	1	37	42	»	79	129
— de magnésie	12.059	669.425	55,50	49	330	198	57	585	978
Pyrite de fer	123.976	3.220.560	25,97	15	502	438	»	940	1.761
Minerais vitrioliques et alunifères	32.224	60.159	21,72	3	56	67	»	123	279
Sel gemme	80.407	668.014	8,30	3	144	136	»	280	695
Sels potassiques	162.661	1.503.590	9,25	2	375	219	»	594	1.547
Sels de manganèse	32	42.797	1.332,75	»	»	»	»	»	»
Totaux	45.635.662	436.238.437	»	1.955	174.759	54.852	5.905	235.516	424.640

Les mines de houille de Schaumburg, appartenant pour moitié seulement à la Prusse, ne sont comptées que pour moitié dans la production générale; de même les établissements miniers de l'Unterharz, dits *Communionwerke*, qui appartiennent en commun à la Prusse et au duché de Brunswick, ne figurent dans ce tableau que pour les quatre septièmes de leur production et de leur nombre d'ouvriers.

(*) Voir, pour les statistiques des années 1871, 1872 et 1873, le Bulletin des *Annales des mines* (7e série, tome III, page 429; tome V, page 568; tome IX, page 637).

L'année 1874 a commencé pour l'industrie minière de la Prusse, comparativement aux résultats de 1873, un mouvement rétrograde qui s'est fortement accentué en 1875. Si la production totale a continué à croître, au moins en 1875, les résultats financiers n'en ont pas moins très-fortement diminué, comme le montre le tableau suivant :

	1873.	1874.	COMPARAISON de 1874 et 1873. TOTAUX		P. 100.		1875.	COMPARAISON de 1875 et 1874. TOTAUX.		P. 100.	
			en plus.	en moins.	en plus.	en moins.		en plus.	en moins.	en plus.	en moins.
Production en tonnes.	45.149.469	44.397.793	»	751.676	»	1,66	45.635.662	1.237.869	»	2,7	»
Valeur en francs.	573.957.531	537.003.153	»	36.954.378	»	6,44	436.238.437	»	100.764.716	»	18,8

Production de la houille, par bassins.

BASSINS.	ANNÉE 1874. NOMBRE d'ouvriers.	POIDS EXTRAIT total.	POIDS EXTRAIT par ouvrier.	PART dans la production totale.	VALEUR par tonne.	ANNÉE 1875. NOMBRE d'ouvriers.	POIDS EXTRAIT total.	POIDS EXTRAIT par ouvrier.	PART dans la production totale.	VALEUR par tonne.
		tonnes.	tonnes	p. 100.	fr.		tonnes.	ton.	p. 100.	fr.
Haute-Silésie.	33.196	8.265.018	249,00	25,88	9.80	32.193	8.252.465	256	24,69	[illegible]
Basse-Silésie.	12.605	2.350.995	186,50	7,36	12,75	11.313	2.191.899	194	6,56	10,70
Wettin.	169	17.669	104,55	0,05	18.77	162	16.286	101	0,05	18,57
Lœbejün.	247	32.586	131,95	0,10	13,20	236	28.599	121	0,09	[illegible]
Hanovre.	2.898	328.675	113,40	1,03	15,30	2.832	337.445	119	1,01	12,77
Hohnstein.	200	18.644	93,20	0,06	12.75	155	13 488	87	0,04	10,30
Schaumbourg (1/2). .	783	110.193	140,70	0,35	17,22	760	100.780	133	0,30	14,92
Minden.	148	10.112	68,35	0,03	18,65	130	9.540	73	0,03	16,37
Ibbenbüren.	1.605	226.921	141,40	0,71	15,20	1.647	220.174	134	0,66	11,97
La Ruhr.	81.241	15 251.934	187,75	47,75	13,72	81.822	16.698.628	204	49,97	9,02
Aix-la-Chapelle. . . .	6.293	1.004.920	175,55	3,15	13,10	5.844	979.984	168	2,93	9,87
La Sarre.	22.117	4.321.016	195,35	13,53	18,80	22.608	4.570.010	202	13,67	13,92
Totaux et moyennes.	161.502	31.958.683	197,75	100,00	13,20	159.702	33.419.298	209	100,00	9,52

Lignite. — La production des lignites a fortement augmenté en 1874 ; elle a été un peu moindre en 1875, tout en restant supérieure à celle de 1873. Voici comment cette production s'est répartie par provinces :

Production de lignite, par provinces.

PROVINCES.	ANNÉE 1874.					ANNÉE 1875.				
	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS EXTRAIT total.	POIDS EXTRAIT par ouvrier.	PART dans la production totale.	VALEUR par tonne.	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS EXTRAIT total.	POIDS EXTRAIT par ouvrier.	PART dans la production totale.	VALEUR par tonne.
		tonnes.	ton.	p. 100.	fr.		tonnes.	ton.	p. 100.	fr.
Brandebourg.	3.456	1.489.438	430,95	17,09	3,82	3.399	1.510.196	452,40	18,11	3,75
Poméranie.	9	106	11,08		3,82	14	»	»	»	»
Posen.	68	13.318	195,85	0,21	3,87	92	17.927	194,85	0,27	4.00
Hanovre.	39	5.439	139,95		7,37	37	4.500	121,65		11,25
Silésie.	1.445	446.704	309,15	5,12	4,50	1.365	439.901	322,25	5,27	4,75
Saxe.	11.346	6.379.325	562,25	73,19	4,57	11.472	6.012.225	524,10	72.09	4.50
Hesse-Nassau.	1.551	228.182	147,10	2,62	7,60	1.437	208.370	145,05	2,50	7.50
Provinces rhénanes.	731	154.137	210,85	1,77	3,65	620	147.087	237,25	1,76	3,00
Totaux et moyennes.	18.645	8.716.649	467,50	100,00	4,52	18.436	8.340.209	425,25	100,00	4,50
En 1873.	18.068	7.987.832	442,10		4,35					

L'infériorité des résultats de 1874, et surtout de 1875, doit être attribuée, d'une part, à des raisons politiques, sociales et économiques communes à tous les pays; de l'autre, à la crise financière qui a suivi les spéculations exagérées de l'année 1873, en Prusse.

Ce sont les combustibles minéraux et les minerais de fer qui donnent les diminutions les plus considérables; ce sont eux aussi qui tiennent le premier rang, au point de vue de la quantité comme à celui de la valeur.

Les combustibles minéraux représentent, en 1874, 85,95 p. 100; en 1875, 81,50 p. 100 de la valeur totale des substances minérales produites.

Houille. — La houille entre pour 78,51 et 79,98 p. 100 dans le poids total des combustibles minéraux extraits en 1874 et 1875. Le tableau suivant donne, pour ces deux années, la production par bassins.

Fer. — La production des minerais de fer a subi en 1874 une forte diminution. En 1875, elle est restée à peu près la même qu'en 1874. Au point de vue de la nature, les minerais se répartissent de la manière suivante :

NATURE des minerais.	PRODUCTION			DIFFÉRENCE entre 1874 et 1873		DIFFÉRENCE entre 1875 et [illegible]	
	en 1873.	en 1874.	en 1875.	en plus.	en moins.	en plus.	[illegible]
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Limonite	25.685	16.484	7.022	»	9.201	»	[illegible]
Hématite brune et minerai argileux	1.630.054	1.122.766	1.258.335	»	407.288	135.569	»
Fer carbonaté	742.901	600.445	642.750	»	142.456	42.305	»
Minerai de houillères	223.468	138.006	139.140	»	85.462	1.134	»
Hématite rouge	698.148	535.570	526.173	»	162.580	»	[illegible]
Fer magnétique	10.415	8.412	7.801	»	2.003	»	[illegible]
Minerai en grains	223.982	118.743	12.868	»	105.239	»	[illegible]
Fer spéculaire	352	459	331	107	»	»	[illegible]
	3.555.005	2.540.885	2.5944.22	Diminution 1.014.120		Augmentation [illegible]	

(*) Cette diminution extraordinaire est due à ce que toute la production d'une partie de la province de Hanovre avait été, à tort, comptée, les années précédentes, comme minerais en grains.

Zinc.— La production des minerais de zinc à un peu augmenté, surtout en 1875. Le tableau suivant indique la part de chaque province dans la production totale :

PROVINCES.	1874.				1875.			
	POIDS EXTRAIT.			VALEUR par tonne.	POIDS EXTRAIT.			VALEUR par tonne.
	Calamine.	Blende.	Total.		Calamine.	Blende.	Total.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.
Silésie	355.332	12.145	367.477	25,42	345.784	32.207	377.938	[illegible]
Hanovre	—	2.896	2.896	137,62	—	3.545	3.545	[illegible]
Westphalie	18.513	10.882	29.395	38,17	4.865	26.659	31.524	[illegible]
Hesse-Nassau	263	12.795	13.058	65,62	4.829	14.052	18.881	[illegible]
Provinces rhénanes	622	30.076	30.698	63,86	533	32.786	33.319	[illegible]
Totaux et moyennes	374.730	68.794	443.524	30,82	355.958	109.249	465.207	[illegible]

Plomb. — La production des minerais de plomb offre de même en 1874 et surtout en 1875 des augmentations sensibles. Elle se répartit de la manière suivante entre les différentes provinces :

PROVINCES.	1874.			1875.		
	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR par tonne.	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR par tonne.
		tonnes.	francs.		tonnes.	francs.
Silésie.	2.007	16.287	303,80	2.260	16.427	331,97
Saxe et Hanovre. . .	3.585	16.994	259,87	3.524	21.187	267,12
Westphalie.	2.150	7.247	250,53	2.296	7.136	223,91
Hesse-Nassau.	2.258	11.236	230,15	2.403	14.499	291,52
Provinces rhénanes.	7.427	47.838	185,10	7.394	48.628	186,85
Totaux et moyennes.	17.427	99.602	227,50	17.877	107.877	241,22

Cuivre.—La production des minerais de cuivre, après une baisse assez forte en 1874, s'est relevée en 1875, sans cependant revenir au chiffre de 1873. Les quatre cinquièmes de la production appartiennent au pays de Mansfeld (Saxe), comme il ressort du tableau suivant :

PROVINCES.	1874.			1875.		
	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR par tonne.	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR par tonne.
		tonnes.	francs.		tonnes.	francs.
Silésie.	68	6.093	9,65	73	6.765	9,95
Saxe.	5.721	201.278	33,50	5.814	217.868	33,25
Hanovre.	135	6.506	73,25	139	7.428	70,22
Westphalie.	423	35.555	6,97	381	39.382	6,40
Hesse-Nassau.	125	1.423	83,70	108	561	113.17
Provinces rhénanes.	193	4,441	38,55	88	1.950	58,15
Totaux et moyennes.	6.665	255.296	30,60	6.603	273,954	30,17

Métaux divers. — La production des minerais de manganèse a notablement diminué en 1874 et en 1875, ainsi que celle des pyrites et des minerais d'arsenic; celle des minerais de nickel a, au contraire, sensiblement augmenté. Les autres minerais métalliques n'ont offert que des variations sans importance.

II. — SALINES.

Sur les 80.407 tonnes de sel gemme produites par les mines, 13.901 tonnes ont été raffinées. Les salines, qui traitent en outre des eaux salées, ont produit en 1874 et 1875 les quantités suivantes :

	1874.		1875.	
	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.
	tonnes.	francs	tonnes.	francs.
Chlorure de sodium. . .	215.284	7.302.941	217.925	7.004.964
Chlorure de potassium. .	58	3.221	46	2.704
Sel de Glauber.	7.432	822.382	7.650	607.669
Sulfate d'alumine.	500	109.376	400	90.000
Alun.	2.480	562.605	2.527	575.911

III. — ACCIDENTS.

Les accidents, suivis de mort, survenus en 1874 et 1875, dans les mines et dans les ateliers de préparation qui en dépendent, se répartissent de la manière suivante :

NATURE des exploitations.	1874. NOMBRE D'OUVRIERS			1875. NOMBRE D'OUVRIERS		
	employés.	tués. Total.	tués. P. 1000.	employés.	tués. Total.	tués. P. 1000.
Mines de houille. . . .	161.993	484	2,988	160.462	454	2,829
Mines de lignite. . . .	18.597	38	2,043	18.448	43	2,331
Mines métalliques. . .	55.468	60	1,082	52.773	79	1,499
Autres exploitations. .	7.097	9	1,268	8.039	11	1,318
Totaux et moyennes. .	243.155	591	2,431	239.722	587	2,449
Moyennes de 1866-1875.	206.353	510	2,471			

En rapprochant ces chiffres des quantités extraites, on trouve qu'il y a eu un homme tué pour les productions suivantes :

	1874.		1875.	
	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.
	tonnes.	francs.	tonnes.	francs.
Mines de houille.	66.216	875.317	73.832	704.281
Mines de lignite.	229.388	1.035.127	193.959	859.460
Mines métalliques. . . .	58.723	1.229.340	39.171	959.192
Moyennes.	76.138	923.092	78.046	750.827

Le tableau suivant indique la répartition des accidents, d'après les causes qui les ont produits. Les chiffres donnés représentent les moyennes des deux années 1874 et 1875 :

Accidents. — Moyennes des

NATURE DES EXPLOITATIONS.	NOMBRE d'ouvriers.	TRAVAIL à la poudre.		CHUTES de blocs.		PLANS inclinés.		DANS des puits.		DANS les galeries de roulage.	
		Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000
Mines de houille. . .	161.227	27	0,167	169,0	1,047	60,5	0,375	100.5	0,623	18,00	[illegible]
Mines de lignite. . .	18.522	»	»	14,0	0,757	»	»	10.0	0,541	1,50	[illegible]
Mines métalliques. .	54.120	7	0,128	23,5	0,433	0,50	0,010	24,0	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Autres exploitations.	7.568	1	0,132	5,0	0,663	»	»	0,50	0,070	»	[illegible]
Totaux et moyennes.	241.437	35	0,144	211,5	0,876	61,0	0,255	135,0	0,558	21.00	[illegible]
Moyennes de 1870-75.	225.780	27	0,120	211,0	0,935	56,0	0,248	124,0	0,549	16,00	[illegible]

L'examen des accidents survenus dans les puits montre, comme les années précédentes que ce sont les échelles qui sont le mode de circulation le plus sûr, tandis que les *fahrkunst* offrent le plus de danger. Le tableau suivant indique, en effet, le résultat des observations faites en 1874, 1875 et dans les cinq années précédentes :

ANNÉES.	ÉCHELLES.			FAHRKUNST.			CAGES GUIDÉES.		
	NOMBRE d'ouvriers.	NOMBRE d'accidents.		NOMBRE d'ouvriers.	NOMBRE d'accidents.		NOMBRE d'ouvriers.	NOMBRE d'accidents.	
		Total.	P. 1000		Total.	P. 1000		Total.	P. 1000
1875.	73.693	4	0,054	7.489	1	0,134	65.982	19	[illegible]
1874.	81.140	7	0,086	7.565	6	0,793	61.216	5	[illegible]
1871-1875. . . .	419.098	52	0,124	35.650	13	0,365	269.969	63	[illegible]

Il faut tenir compte néanmoins de ce qu'on ne se sert guère des échelles que dans des puits de faible profondeur, où les chances d'accidents sont naturellement moindres.

années 1874 et 1875.

GRISOU.		MAUVAIS air.		PAR des machines.		COUPS d'eau.		AU jour.		ACCIDENTS divers.		TOTAL général.	
Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000	Total.	Pour 1.000
31,50	0,195	8,0	0,049	10	0,062	1,00	0,006	34,0	0,211	9,5	0,059	469,0	2,908
»	»	3,5	0,144	2	0,108	0,50	0,027	7.5	0,405	1,5	0,081	40,5	2,187
»	»	1,0	0,019	4	0,074	»	»	6,5	0,122	1.5	0,028	69,5	1.290
»	»	»	»	»	»	»	»	2,5	0,319	1,0	0,122	10,0	1,288
31,50	0,126	12,50	0.052	16	0,068	1,50	0,006	50,5	0,211	13,50	0,056	589,0	2,439
43,00	0,190	15,00	0,066	14	0,062	5,00	0,022	38,0	0,168	16,00	0,071	565,0	2,502

IV. — USINES.

35.686 tonnes de fonte en 1874, 31.219 tonnes en 1875 ont été moulées en première fusion. Le reste de la fonte produite, augmenté d'une forte quantité de fonte importée, a été employé pour le moulage en deuxième fusion, la fabrication du fer ou de l'acier.

Les tableaux suivants indiquent les productions de chacune de ces matières :

NATURE des substances produites.	NOMBRE des usines.	NOMBRE des ouvriers.	POIDS.	VALEUR.
	1874.			
			tonnes.	francs.
Fonte moulée en deuxième fusion.	489	25.459	330.244	86.794.785
Fer provenant de fontes brutes. .	156	39.895	904.224	213.103.421
Fers provenant de vieux fers, loupes, etc.	140	3.634	184.900	53.135.955
Acier brut.	30	4.282	137.064	36.232.935
Acier fondu.	24	18.551	234.721	79.355.407
Totaux.	839	91.821	1.791.153	468.622.503
	1875.			
Fonte moulée en deuxième fusion.	554	27.595	329.669	87.912.729
Fer provenant de fontes brutes. .	153	35.782	846.759	159.798.352
Fers provenant de vieux fers, loupes, etc.	149	5.722	148,501	36.309.191
Acier brut.	33	3,045	110.254	24.555.649
Acier fondu.	35	15.425	240.880	66.492.399
Totaux.	924	87.569	1.676.063	375.068,320

Production des usines.

NATURE des matières produites.	ANNÉE 1874. NOMBRE des usines.	ANNÉE 1874. NOMBRE des ouvriers.	ANNÉE 1874. POIDS extrait de minerais indigènes.	ANNÉE 1874. POIDS extrait de minerais étrangers.	ANNÉE 1874. POIDS total.	ANNÉE 1874. VALEUR.	ANNÉE 1875. NOMBRE des usines.	ANNÉE 1875. NOMBRE des ouvriers	ANNÉE 1875. POIDS extrait de minerais indigènes.	ANNÉE 1875. POIDS extrait de minerais étrangers.	ANNÉE 1875. POIDS total.	ANNÉE 1875. VALEUR.
			tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.			tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.
Fonte fabriquée au combustible minéral.	78	14.427	1.117.877	73.813	1.191.690	128.352.754	74	13.388	1.234.305	90.280	1.324.585	122.173.004
Fonte fabriquée au combustible végétal.	70	4.338	66.825	3.715	70.540	13.131.180	58	4.471	55.658	1.647	57.305	10.530 051
Aux deux combustibles.	12	236	18.038	»	18.038	2.273.430	9	127	16.346	100	16.436	1.660.045
Total.	160	19.001	1.202.740	77.528	1.280.268	143.757.364	141	17.986	1.306.309	92.027	1.398.336	134.363.100
Zinc.	32	5.845	67.363	2.814	70.177	35.668.459	32	6.555	70.726	3.392	74.118	38.482.390
Plomb.	17	2.573	55.176	9.183	64.359	33.448.282	17	2.656	56.885	8.527	65.412	35.330.384
Cuivre (mattes et cuivre noir compris).	8	1.358	5.886	365	6.251	13.518.292	8	1.355	7.055	156	7.211	15.942.155
Argent.	2	335	79.954kg,9	33.531kg,95	113.486kg,85	24.373.288	2	344	101.218kg,00	11.152kg,6	112.370kg,6	23.526.039
Or.	»	»	88kg,68	130kg,54	219kg,22	741.930	»	»	145kg,57	31kg,11	176kg,68	608.195
Nickel, speiss, etc.	3	99	88t	95t	183t	1.624.241	4	140	99t	137t,7	236t,7	2.081.152
Bleu de cobalt.	1	16	0,6	7,2	7.8	23 280	1	14	1,8	9,5	11,3	15.064
Cadmium.	»	»	1.264kg,00	»	1.264kg,00	24.743	»	»	1,9	»	1,9	40.030
Produits arsenicaux.	1	6	214t	»	214t	80.764	1	6	170	»	170,00	71.362
Soufre.	»	11	188	»	188	45.517	»	»	197	»	197	48.920
Acide sulfurique.	10	267	39.247	2.509	41.756	3.974.962	19	836	58.841	11.144	69,985	6.796.507
Sels vitrioliques.	1	40	3.748	»	3.748	1.322.681	2	53	4.239	279	4.518	1.610.126
Total.	. .	. . .	. . .	. . .	. . .	258.603 803	. .	. . .	. . .	. . .	. . .	258.915.424
En 1873.	. .	. . .	. . .	. . .	. . .	342 666.541	. .	. . .	. . .	. . .	. . .	

(*Extrait par* M. H. Kuss, *ingénieur des mines, du* « Zeitschrift für das Berg-Hütten-und Salinenwesen im preussischen Staate, » tomes XXIII et XXIV, années 1875 et 1876.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA SAXE

POUR LES ANNÉES 1873 ET 1874.

La Saxe est depuis longtemps célèbre par ses mines métalliques. Les tableaux suivants montrent néanmoins que la production des minerais métalliques ne représente en poids que $\frac{1}{75}$ en valeur, que $\frac{1}{8}$ de la production minière totale de ce pays.

I. — Minerais métalliques.

NATURE des minerais.	ANNÉE 1873.		ANNÉE 1874.	
	POIDS extrait.	VALEUR.	POIDS extrait.	VALEUR.
	tonnes.	francs.	tonnes.	francs.
Minerais vendus à Freiberg.	22.222	5.729.426	23.823	5.443.375
Minerai de fer.	25.806	388.049	26.395	406.886
Etain métallique.	128	420.062	57.5	153.231
Minerai de bismuth.	31	421.665	51	392.158
Id. de cobalt et de nickel.	194	315.774	166	271.834
Id. de blende.	81	2.250	9	240
Id. de galène.	3	1.317	2,5	1.213
Pyrite.	202	3.417	214	2.515
Minerais arsenicaux.	90	3.430	101	4.970
Wolfram.	22	2.953	9,2	1.698
Pechblende.	10kg	121	1084kg	6.206
Spath fluor.	108t	2.356	739t	14.013
Sulfate de baryte.	491	8.910	505	7.811
Quartz.	355	4.353	52	615
Calcaire.	45	5.818	10	5.340
Mica.	»	»	10	256
Echantillons minéralogiques.	»	5.641	»	7.413
Totaux.	49.779	7.315.542	52.148	6.719.831

Les minerais vendus aux usines de Freiberg, qui forment le premier article, contenaient:

	En 1873.	En 1874.
Or.	»	0kg,120
Argent.	21 677 kilog.	21.944 kilog.
Plomb.	3.861 tonnes.	3 481 tonnes.
Cuivre.	43 —	28 —
Zinc.	66 —	47 —
Cobalt et nickel.	122 kilog.	203 kilog.
Arsenic.	243 tonnes.	250 tonnes.
Soufre.	2.646 —	2.529 —

Des quatre districts miniers de Freiberg, Altenberg, Marienberg et Schwarzenberg, celui de Freiberg produit seul la presque totalité des minerais livrés aux usines de Freiberg. Altenberg produit presque tout l'étain (en 1873, 123 tonnes sur 128; en 1874,

53 tonnes sur 57), et une partie notable du minerai de fer (8.583 tonnes en 1873, 12.635 en 1874 sur 25.806 et 26.395 tonnes). La production du district de Marienberg est insignifiante. Celui de Schwarzenberg doit son importance à ses minerais de fer (16.919 et 13.500 tonnes en 1873 et 1874), et à ses minerais de cobalt, de nickel, de bismuth : c'est à lui qu'appartient presque toute la production de ces trois métaux en Saxe.

Le tableau suivant indique d'ailleurs la production totale de chacun de ces quatre districts :

DISTRICTS.	ANNÉE 1873.			ANNÉE 1874.		
	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR.	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR.
		tonnes.	francs.		tonnes.	francs.
Freiberg.	6.460	22.915	5.731.948	6.120	24.292	5.421.219
Altenberg.	646	8.931	594.176	616	12.717	387.020
Marienberg.	246	29	22.592	167	38	43.753
Schwarzenberg. . . .	1.230	17.904	966.826	1.126	15.101	867.842
Totaux.	8.582	49.779	7.315.542	8.029	52.148	6.719.834

II. — Combustibles minéraux.

INSPECTIONS minières.	ANNÉE 1873.			ANNÉE 1874.		
	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR.	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS extrait.	VALEUR.
a) **Houille.**						
		tonnes.	francs.		tonnes.	francs.
Chemnitz.	3.155	270.422	4.823.697	3.682	295.112	5.136.686
Dresde.	3.611	605.720	9.276.926	3.724	641.024	10.165.279
Zwickau.	9.663	2.289.933	33.536.715	9.893	2.111.171	33.150.742
Totaux.	16.429	3.166.075	47.637.338	17.259	3.047.307	48.452.707
b) **Lignite.**						
Chemnitz..	1.951	351 786	1.484.216	1.732	361.530	1.481.314
Dresde.	1.712	249.312	1.210.369	1.673	242.288	1.188.221
Totaux.	3.655	601.098	2.694 585	3.405	603.818	2.669 535
Totaux pour l'ensemble des deux combustibles minéraux.	20.049	3.767.173	50.331.923	20.704	3.651.125	51.122.242
		tonnes.	francs.		tonnes.	francs.
Total général de la production minérale.	28.631	3.816.952	57.647.465	28.733	3.703.273	57.842.076

III. — Accidents.

Les accidents, suivis de mort, survenus, en 1873 et 1874, dans les mines et dans les ateliers de préparation qui en dépendent, se répartissent de la manière suivante :

NATURE des exploitations.	ANNÉE 1873. NOMBRE D'OUVRIERS employés.	tués. Total.	tués. P. 1.000	ANNÉE 1874. NOMBRE D'OUVRIERS employés.	tués. Total.	tués. P. 1.000
Mines métalliques. .	7.893 (*)	9	1,141	7.397 (**)	7	0,946
Mines de houille. . .	16.429	48	2,922	17.299	50	2,890
Mines de lignite. . .	3.655	11	3,009	3.405	11	3,231
Totaux et moyennes.	27.977 (*)	68	2,430	28.101 (**)	68	2,419

(*) Non compris 689 ouvriers non permanents.
(**) Non compris 632 ouvriers non permanents.

En rapprochant ces chiffres des quantités extraites, on trouve qu'il y a eu un homme tué pour les productions suivantes :

	ANNÉE 1873. tonnes.	ANNÉE 1873. francs.	ANNÉE 1874. tonnes.	ANNÉE 1874. francs.
Mines métalliques.	5.531	812.838	7.449	959.976
Mines de houille.	65.959	592.444	60.146	969.054
Mines de lignite.	54.645	244.962	54.892	242.685
Moyennes.	57.602	847.757	54.459	850.618

Le tableau suivant indique, pour les deux années 1873 et 1874, la répartition des accidents d'après les causes qui les ont produits.

Accidents. — Années 1874 et 1875.

NATURE des exploitations.		NOMBRE d'ouvriers.	CHUTES de blocs.		DANS les puits.		MAUVAIS air.		MACHINES.		DIVERS.		TOTAL général.	
			Total.	P. 1000	Total.	P. 1000	Total.	P. 1000	Total.	P. 1000	Total.	P. 1000	Total.	P. 1000
Mines métalliques. . .	1873.	7.893	2	0,254	3	0,380	»	»	»	»	4	0,507	9	1,141
	1874.	7.397	2	0,270	3	0,405	»	»	2	0,271	»	»	7	0,946
Mines de houille. . . .	1873.	16.429	20	1,217	2	0,122	9	0,548	15	0,913	2	0,122	48	2,922
	1874.	17.299	15	0,867	17	0,982	5	0,289	11	0,636	2	0,116	50	2,890
Mines de lignite. . . .	1873.	3.655	7	1,915	3	0,821	1	0,273	»	»	»	»	11	3,009
	1874.	. 3.405	3	0,881	3	0,881	1	0,294	3	0,881	1	0,294	11	3,231
Totaux et moyennes. .	1873.	27.997	29	1,034	8	0,286	10	0,357	15	0,535	6	0,215	68	2,430
	1874.	28.101	20	0,711	23	0,818	6	0,213	16	0,569	3	0,106	68	2,419

IV. — Usines.

a) Usines à fer. — L'administration des mines et usines de la Saxe ne publie aucun renseignement sur les usines à fer de ce pays ; nous empruntons les chiffres suivants, pour 1873, à la *Statistique de l'empire allemand*, publiée à Berlin (tomes VIII et XIV, années 1874 et 1875).

Nombre d'usines en activité		6	
Nombre d'ouvriers		386	
Poids des minerais traités.	Minerais indigènes	42.465	tonnes.
	Minerais étrangers	1.362	—
	Total	43.827	—
Production :	Fonte brute	9.460	tonnes.
	Fonte de moulage	1.977	—
	Acier brut	6.234	—
	Total	17.671	—

Valeur des produits : 3.469.466 francs.

b) Usines royales de Freiberg. — Les deux usines royales de la Mulde et de Halsbrück ont employé, en 1873, 1.370 ouvriers ; en 1874, 1.260 ouvriers. Elles ont produit :

MATIÈRES produites.	1873.		1874.	
	POIDS.	VALEUR.	POIDS.	VALEUR.
		francs.		francs.
Or fin	191kg,83	662.265	141kg,38	491.215
Argent fin	59t,78	12.927.039	40t,59	8.696.387
Sulfate de cuivre	1.303 ,79	981.478	1.780 ,99	1.109.350
Bismuth	1 ,79	42.240	2 ,27	34.820
Speiss de nickel	12 ,02	58.651	6 ,43	32.780
Zinc	195 ,70	105.485	254 ,35	140.938
Plomb (en lingots ou travaillé)	4,331 ,70	2.394.717	4.752 ,27	2.600.838
Acide sulfurique	11.222 ,45	997.822	10,030 ,87	864.336
Produits chimiques (sulfate de fer, acide nitrique, etc.)	776 ,44	76.155	587 ,72	56.896
Produits arsenicaux	575 ,80	233.156	646 ,53	278.670
Totaux	......	18.477.756	......	14.306.230

c) *Usines de Schneeberg :*

MATIÈRES produites.	1873.		1874.	
	POIDS.	VALEUR.	POIDS.	VALEUR.
	tonnes.	francs.	tonnes.	francs.
Bleu de cobalt.	312,40	1.525.255	375,06	1.560.703
Produits nickelifères.	33,12	889.351	52,63	1.344.264
Bismuth.	11,99	272.639	27,34	346.915
Produits arsenicaux.	1,00	175	»	»
Totaux.	. . . . . .	2.687.420	. . . . . .	3.251.882

d) *Fonderies d'étain.* — Les produits de ces petites usines, qui ne peuvent se séparer des ateliers de préparation mécanique, ont été indiqués dans le tableau de la production des mines. Nous croyons inutile de les reproduire ici.

[*Extrait par* M. H. Kuss, *ingénieur des mines*, *du* « Jahrbuch für das Berg und Hüttenwesen im Kœnigreiche Sachsen », années 1875 et 1876.]

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA SUÈDE

POUR L'ANNÉE 1874.

Comme terme de comparaison on pourra se reporter, soit à une notice publiée dans ces *Annales*, 6ᵉ série, tome XIII, *Bulletin*, et extraite d'un rapport de M. Mathis, ingénieur civil, soit à un extrait de la statistique officielle publié dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 1ʳᵉ série, tome X, par M. Vicaire.

INDUSTRIE SIDÉRURGIQUE.

Minerais extraits.

Les mines exploitées ont été au nombre de 1.213, dont 696 seulement ont fourni des minerais ainsi répartis :

DISTRICT. —	NOMBRE de mines.	EXTRACTION. — tonnes.			
Norrbotten.	33	4.171	dont	952	à Gellivara.
Vesternorrland.	3	772			
Jemtland.	3	92			
Gefleborg.	23	23.517			
Upsala.	34	47.120	dont	34.277	à Dannemora.
Stockholm.	60	52.197	dont	18.294	à Utö.
Kopparberg.	166	258.794	dont	15.957	à Vinkärn.
—				25.840	à Ormberg.
—				32.428	à Grängersberg.
—				17.036	à Bispberg.
Vestmanland.	61	128.200	dont	39.087	à Risberg.
—				20.939	à Morberg.
—				18.955	à Klackberg.
Œrebro.	189	244.205	dont	24.658	à Stripgrufve.
—				46.249	à Striberg.
—				19.176	à Dalkarlsberg.
Vermland.	61	118.227	dont	58.298	à Persberg et Yngshytte.
Södermanland.	14	15.466			
Œstergötland.	16	12.981			
Calmar.	1	3.613			
Jönköping.	27	12.189	dont	11.654	» Taberg.
Kristianstad.	1	553			
Kronoberg.	1	21			
Totaux.	696	922.118			

Minerais de lacs et de marais.

DISTRICT.				
Jemtland.	pour 1	haut fourneau.	143	tonnes.
Calmar.	1	—	186	—
Jönköping.	3	—	1.091	—
Kronoberg.	6	—	2.879	—
Total.			4.299	

La production de ces derniers minerais est inférieure d'environ 1.000 tonnes à celle de 1873; au contraire celle des minerais de mines surpasse celle de 1873 de 94.990 tonnes; c'est la plus élevée qui ait jamais été obtenue.

L'exportation, en 1874, a été de 25.299 tonnes.

En se reportant aux chiffres de 1864 (*Annales des mines, loc. cit.*), on voit que, dans cette période décennale, la production des mines a presque doublé (augmentation de 98 p. 100). Celle des minerais de marais et de lacs a diminué de 77 p. 100 de sa valeur. Dans l'ensemble, augmentation de 97 p. 100.

Fabrication de la fonte.

Dans le courant de l'année, 217 usines, dont trois à 2 hauts fourneaux, ont été en activité.

Fabrication de la fonte en 1874.

DISTRICTS.	NOMBRE d'usines		DURÉE du fondage.	PRODUCTION DÉCLARÉE		
	en chômage.	en activité.		Fonte en saumons.	Moulages en 1re fusion.	Ensemble.
			jours.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Norrbotten	5	1	94	404	7	411
Vesterbotten	»	4	411	3.545	113	3.658
Vesternorrland	2	4	634	4.484	103	4.587
Jemtland	»	2	38	56	12	68
Gefleborg	8	25	4.511	41.917	355	45.272
Upsala	5	6	841	6.768	346	7.114
Stockholm	1	4	435	3.793	54	3.847
Kopparberg	24	42	7.293	64.752	302	65.054
Vestmanland	12	18	3.180	27.791	161	27.952
Œrebro	15	58	12.089	92.676	3.335	96.011
Skaraborg	»	1	237	1.317	12	1.329
Vermland	8	25	5.033	44.820	360	45.180
Elfsborg	»	2	451	3.480	77	3.557
Södermanland	8	6	1.015	5.491	341	5.832
Œstergötland	»	4	1.263	10.813	174	10.987
Calmar	5	6	551	3.033	60	3.093
Jönköping	4	8	1.023	3.705	28	3.733
Kronoberg	7	1	35	164	»	164
Total	104	217	39.164	322.009	5.840	327,849

Cette production surpasse celle de 1873 de 17.868 tonnes.

Par rapport à 1864, il y a une augmentation de 86.192 tonnes, soit 26 p. 100.

En rapprochant les nombres de ce tableau, on voit que chaque usine a travaillé en moyenne 180 jours et a produit 1.511 tonnes, soit par jour 8t,4. En 1864, la production moyenne par usine n'était que de 6t,8.

En 1874, la plus forte production par usine a été celle de Långshyttan (Kopparberg), de 4.990 tonnes, avec une production journalière de 14 tonnes.

La fonte exportée s'est élevée à 41.780 tonnes.

Fabrication du fer en 1874.

DISTRICTS.	EN CHOMAGE.	EN ACTIVITÉ.		PRODUCTION déclarée.
	Forges.	Forges.	Feux.	
Norrbotten	3	5	5	180
Vesterbotten	3	4	7	1.458
Vesternorrland	9	10	20	3.087
Jemtland	»	2	2	40
Gefleborg	20	42	99	17.434
Upsala	3	10	36	6.096
Stockholm	1	6	15	2.494
Kopparberg	25	36	91	16.095
Vestmanland	21	26	66	26.599
Œrebro	27	39	109	37.988
Skaraborg	5	5	7	894
Vermland	52	43	126	27.692
Elfsborg	7	8	14	3.327
Södermanland	6	7	10	1.119
Œstergötland	12	20	55	11.266
Calmar	3	14	33	5.450
Jönköping	5	13	19	1.841
Kronoberg	2	10	11	898
Blekinge	»	2	2	3.687
Total	204	302	727	167.645

Cette production surpasse de 7.738 tonnes celle de 1873.

Par rapport à 1864, l'augmentation est de 29.836 tonnes, soit de 22 p. 100.

Production annuelle de chaque usine, 555 tonnes; de chaque feu; 216 tonnes.

Depuis un certain nombre d'années, beaucoup de forges fabriquent, soit exclusivement, soit en proportion plus ou moins forte, des massiaux qui, lorsqu'ils ne sont pas exportés directement, sont, pour la plus grande partie, réchauffés et finis dans d'autres usines pourvues de laminoirs.

Indépendamment d'un poids de 5.006 tonnes qui a été compris dans le total ci-dessus du fer en barres, les quantités ci-après de ces massiaux ont été déclarées séparément.

Pour le district de :

Vesterbotten	1.012 tonnes.
Gefleborg	11.957 —
Upsala	491 —
Kopparberg	12.367 —
Vestmanland	11.837 —
Œrebro	7.526 —
A reporter	45.190 tonnes.

Report	45.190 tonnes.
Vermland	12.987 —
Elfsborg	1.942 —
Göteborg	3 —
Södermanland	148 —
Œstergötland	3.207 —
Calmar	926 —
Total	64.403 tonnes.

Fabrication de l'acier en 1874.

33 usines ont effectué les productions suivantes :

Acier Bessemer	21.303 tonnes,	dont 9.324 pour 3 usines situées dans le district de Gefleborg et 6.841 pour 7 usines situées dans le district de Kopparberg.
Acier Martin	123 —	dans le district de Vermland.
Autres sortes	1.522 —	
Total	22.948 tonnes.	

Les usines Bessemer sont au nombre de 18, parmi lesquelles les plus importantes, d'après la production en 1874, sont :

Sandvik (Gélleborg), avec	4.804 tonnes.
Abäcksbyttan (Kopparberg), avec	2.872 —
Forsbacka (Gefleborg), avec	2.837 —
Vestanfors (Vestmanland), avec	2.212 —

En 1864. la fabrication d'acier ne s'élevait qu'à 3.179 tonnes d'acier Bessemer et 4.502 tonnes d'acier cémenté ; ensemble 7.681 tonnes. On voit que si la production totale a triplé, celle d'acier cémenté a considérablement diminué.

Fers et aciers ouvrés.

Cette fabrication a occupé 232 usines qui ont donné les produits suivants :

Rails	3.374 tonnes.
Tôles	8.622 —
Clous	7.040 —
Outils	4.534 —
Divers	10.739 —
Total	34.306 tonnes.

Mouvement des fers aux balances publiques.

	FER en barres.	FER ouvré.	TOTAL.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Stock de 1873.	19.842	5.775	25.617
Arrivé des usines.	78.239	13.370	91.609
	98.081	19.145	117.226
Exporté.	64.230	13.048	77.278
Enlevé pour la consommation intérieure.	4.096	2.108	6.204
Stock à la fin de l'année de fabrication.	29.755	3.989	33.744
	98.081	19.145	117.226

Le chiffre de 77.278 ne représente pas l'exportation totale, car une certaine quantité de produits ont été exportés sans passer aux balances.

Minerais divers et pyrites de fer.

NATURE des minerais.	NOMBRE des mines exploitées.	EXTRACTION. — tonnes.		
Argent et plomb.	38	12.200,8	dont	9.445,6 à Sala (Vestmanland).
Cuivre.	40	28.833,6	dont	16.001,9 à Fahlun
			et	7.763,7 dans les mines qui alimentent l'usine d'Åtvidaberg (Œstergötland).
Nickel.	8	4.530,5		
Cobalt.	15	40,8		
Zinc.	23	28.198,0	dont	27.976,1 à Åmmeberg, mine appartenant à la Vieille-Montagne.
Manganèse.	2	641		
Pyrite de fer.	1	3.845	dont	3.188 à Stora-Kopparberg (Fahlun).

Métaux autres que le fer.

OR.

Usine Konung Gustaf III, à Fahlun. 3k,214

ARGENT.

Usine Konung Gustaf III, à Fahlun. 60k,004
Usine de Sala (Vestmanland). 641k,490
Usine de Guldsmedshytte (Œrebro). 38k,312

Total. 739k,806

CUIVRE.

La production de ce métal a occupé 10 usines, dont les plus importantes ont donné les résultats ci-après :

Gustafs-och Carlberg (Jemtland). — On a traité : 1.533 tonnes de minerai, qui ont fourni 219 tonnes de matte, soit 14,3 p. 100; 189 tonnes de mattes, qui ont produit 50t,50 de cuivre noir (26,7 p. 100); 50t,24 de cuivre noir, qui ont produit 40t,11 de cuivre rosette (79,8 p. 100). En faisant le produit de ces rendements, on trouve que la tonne de minerai a rendu 3,05 p. 100 de cuivre rosette.

Stora Kopparberg (Fahlun); production, 418t,98 de cuivre rosette.

Kafveltorp (Œrebro). — 59,51 de cuivre rosette.

Åtvidaberg (Œstergötland). — On a fondu 9.699 tonnes de minerai avec 2.947 tonnes de scories et autres produits cuivreux; en tout 12.646 tonnes de matières cuivreuses; 2.709 tonnes de mattes ont fourni 453t,97 de cuivre noir qui ont donné 381t,56 de cuivre affiné et 2t,95 cuivre raffiné; en tout 384t,41.

Valdemarsvik. — 49t,16 de cuivre affiné.

Production totale du royaume : 959t,56 de cuivre affiné.

NICKEL.

A *Sågmyre* (Kopparberg), 8.544 kilog. de métal cuivreux (alliage contenant environ 60 p. 100 de nickel), et 26.312 kilog. de speiss.

A *Klefva* (Jönköping). — 2.500 tonnes de minerai ont fourni 45.569 kilog. de matte de concentration, et en outre 5.378 kilog. de nickel granulé.

LAITON.

Trois usines ont produit 254t,49.

PLOMB.

A Sala.	32 tonnes.
A Guldsmedshytta.	24 —
Total.	56 —

En outre Sala a produit 11 tonnes de litharge marchande.

ZINC.

Les mines d'Åmmeberg, appartenant à la compagnie de la Vieille-Montagne, ont produit, comme il a été dit, 27.976 tonnes de minerai de zinc, en outre de 849 tonnes de minerai de plomb, qui a été retiré du produit de l'extraction. Ces 27.976 tonnes ont fourni 3.872 tonnes de blende riche de triage et 7.258 tonnes de schlichs lavés. Sur ce total de 11.130 tonnes, on a passé aux fours de grillage 8.098 tonnes qui ont donné 7.427 tonnes de blende grillée.

HOUILLE.

A Höganäs	392.400	hectolitres.
Compagnie de Vallåkra	161.070	—
Compagnie de Kropp	124.680	—
Diverses	36.185	—
Total	714.335	—

Toutes ces mines sont dans le district de Malmöhus.

Le tableau suivant résume tous ces résultats avec quelques autres moins importants; il donne en outre la production pour les quatre années antérieures à 1874.

Production minérale : années 1870 à 1874.

		1870.	1871.	1872.	1873.	1874.
Minerais de fer. { de mines	tonnes.	616.712	646.778	720.009	825.224	922.118
Minerais de fer. { de lacs et de marais	—	13.748	.15.761	12.422	5.362	4.299
Fonte, non compris les moulages en première fusion	—	293.124	292.964	334.429	339.536	322.009
Moulages en première fusion	—	7.214	5.797	4.980	6.184	5.840
Moulages en deuxième fusion	—	11.363	12.265	13.218	15.127	17.287
Fer en barres	—	193 806	187.693	172.946	175.383	167.645
Acier	—	12.180	8.542	15.859	16.986	22.948
Fer et acier ouvrés	—	20.816	27.050	32.715	37 887	34.306
Minerais d'argent et de plomb	—	12.218	11.973	9.580	9.850	12.201
Or	kilogr.	10,195	6,070	6,523	5,677	3,214
Argent	—	1.190,627	974,361	742,632	705,55	739.806
Minerai de cuivre	tonnes.	68.649	63.987	60.245	38.509	28.834
Cuivre	—	1.864	1.421	1.365	1.112	960
Minerai de nickel	—	3.704	3,884	5.142	3.786	4.530
Matte de nickel	—	224	336	50	55	46
Speiss de nickel	—	»	»	»	»	26.312
Nickel cuivreux	—	19.3	18.4	29.5	19.2	13.9
Laiton	—	111	156	203	229	254
Cuivre travaillé	—	273	283	213	224	219
Moulages en métaux autres que la fonte	—	38	23	55	46	51
Plomb	—	374	89	43	24	56
Minerai de zinc	—	28.126	32.115	33.441	27.019	28.198
Minerai de cobalt	—	58	»	41	16,6	40,8
Minerai de cobalt purifié	kilogr.	258	173	583	427	300
Manganèse	tonnes.	700	389	254	306	641
Pyrite de fer	—	268	640	565	2.551	3.845
Soufre	—	473	335	326	352	273
Vitriol bleu	—	131	96	124	104	161
Vitriol vert	—	392	651	623	463	469
Ocre rouge	—	810	1.242	1.178	1.418	1.319
Alun	—	772	706	706	585	550
Graphite	—	38	47	56	66	39
Marbre	valeur en francs.	6.950	19.460	20.510	27.050	24.985
Houille	hectolitres.	459.054	521.461	481.596	629.786	714.335

Main-d'œuvre.

Le nombre des ouvriers employés dans les mines et usines s'est élevé à 28.557, suivant le détail donné au tableau suivant :

OUVRIERS EMPLOYÉS EN 1874.

Mines de fer	Permanents	6.542	7.497
	Accidentels	495	
	Femmes et enfants	460	
Usines à fer	Hauts fourneaux	4.458	16.859
	Forges	5.767	
	Fonderies et manufactures	6.324	
	Non classées	310	
Autres usines et mines correspondantes.	Or, argent et plomb	440	4.201
	Cuivre	1.716	
	Divers	2.045	
Total			28.557

En outre une dizaine d'hommes ont été employés à l'extraction des minerais de lacs et de marais.

En rapprochant les nombres d'ouvriers employés dans les mines de fer, hauts fourneaux et forges, des productions correspondantes, on trouve que la production annuelle par ouvrier a été :

Dans les mines de fer, de	123 tonnes.
Dans les hauts fourneaux	74 —
Dans les forges	29 —

Chaque haut fourneau en activité a occupé en moyenne 20,3 ouvriers, et la production a été de 0t,41 par homme et par journée de travail.

Dans les forges, nous trouvons en moyenne 19,1 ouvriers par établissement en activité et 7,9 par feu.

D'après les déclarations, 17 ouvriers ont été atteints par des accidents, dont 6 mortellement.

Le nombre des machines à vapeur employées s'est élevé à 153, dont 100 dans les mines.

(*Extrait par* M. VICAIRE, *ingénieur des mines, du rapport officiel*, Commerce-Collegii Underdåniga Berättelse för År 1874.)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE DU FER AUX ÉTATS-UNIS (*).

	1872	1873	1874	1875	1876
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Rails d'acier.	94.070	129.015	144.944	290.863	412.461
Rails de fer.	905.930	761.062	584.469	501.649	467.168
Total des rails. .	1.000.000	890.077	729.413	792.512	879.629
Lingots Bessemer. . . .	120.108	170.652	191.933	375.517	525.996
Fonte au bois.	500.587	577.620	576.557	410.990	308.649
Fonte à l'anthracite. .	1.369.812	1.312.754	1.202.144	908.046	794.578
Fonte à la houille ou au coke.	984.159	977.904	910.712	947.545	900.009
Total de la fonte. .	2.854.558	2.868.278	2.689.413	2.266.581	2.093.236

		EN FEU.	HORS FEU.	TOTAL.
État des hauts fourneaux au 31 décembre 1876.	Au bois.	73	207	280
	A l'anthracite.	85	143	228
	Au coke ou à la houille.	78	128	206
Totaux.		236	478	714

(Extrait du *Compte rendu de la séance* du 7 juillet 1877 de la *Société de l'industrie minérale*; note de M. Henry, *ingénieur des mines*).

PRODUCTION DES MINES DE PRZIBRAM (BOHÊME).

Les célèbres mines de galène argentifère que le gouvernement autrichien exploite aux environs de Przibram, en Bohême, ont récemment dépassé 1.000 mètres de profondeur : le puits Adalbert qui, en 1779, comptait seulement 20 mètres, atteignait 1.000 mètres en mai 1875. Les ingénieurs qui dirigent cette importante exploitation ont profité de cette occasion pour résumer, dans une suite de mémoires intéressants, toutes les données scientifiques, techniques et statistiques qui concernent le district minier de Przibram.

Les filons ont fourni jusqu'à présent 79 minéraux distincts, et

(*) Les chiffres inscrits sur ce tableau représentent des tonnes de 2.000 livres anglaises.

la remarquable richesse de quelques-uns d'entre eux paraît plutôt s'accroître en profondeur que diminuer. On consultera avec intérêt à ce point de vue, le tableau qui résume la production des mines de Przibram jusqu'en 1874, et dont nous donnons ci-dessous un résumé.

ANNÉES.	PRODUCTION			RECETTES.	DÉPENSES.	PRODUIT.
	Argent fin.	Litharges.	Plomb.			
	kilog.	kilog.	kilog.	florins.	florins.	florins.
1736. . .	»	»	»	10.563	5.054	3.554
1800. . .	770	141.568	17.505	123.895	95.975	28.040
1870. . .	15.390	797.410	1.065.978	2.260.461	1.776.798	757.203
1871. . .	16.274	1.627.956	500.990	2.307.487	1.942 881	634.429
1872. . .	16.823	1.607.263	641.194	2.207.594	2.059.209	495.527
1873. . .	18.053	1.904.302	939.464	2.634.521	2.243.739	683.415
1874. . .	20.351	2.333.926	1.054.330	2.707.895	2.232.613	683.761

En 139 ans, de 1736 à 1874, Przibram a produit :

En argent fin.	555.294	kilog.
En plomb.	15.807.533	—
En litharges.	58.355.684	—

L'approfondissement exceptionnel du puits Adalbert a permis de faire quelques observations précises sur la température des roches aux différents niveaux ; ce puits est entièrement foncé dans la grauwacke de l'étage B de M. de Barrande :

PROFONDEUR en mètres.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	AUGMENTATION moyenne par 100 mètres.
74,486	9,44	
144,967	11,52	
190,653	11,97	2,00
286,247	13,75	
359,743	14,16	
432,671	15,14	
505,516	16,52	
581,451	17,77	1,65
661,790	19,16	
737,270	20,41	
832,151	21,11	1,16
889,235	21,80	

On voit que l'augmentation de température tend à diminuer assez rapidement, à mesure que l'on s'approfondit.

(Extrait par M. Michel Lévy, *ingénieur des mines, de la brochure intitulée :* Der Silber und Blei-Bergbau zu Przibram. (Bœhmen, Wien, 1875.)

ACCIDENTS DE CHEMINS DE FER EN ANGLETERRE.

I. — *État des personnes tuées et blessées sur les chemins de fer de Grande-Bretagne et d'Irlande en* 1876.

DÉSIGNATION des accidents.	NOMBRE DE PERSONNES (*) TUÉES. Voy.	Emp.	A. per.	BLESSÉES. Voy.	Emp.	A. per.
Accidents que les victimes ne pouvaient éviter.	38	43		1.279	384	
Accidents causés par l'imprudence des victimes.	101	630		604	2.216	
Personnes atteintes à des passages à niveau.			59			30
Personnes ayant pénétré indûment dans l'enceinte des chemins de fer (y compris les cas de suicide).			305			134
Autres cas.			69			77
Totaux.	139	673	433	1.883	2.600	241
		1.245			4.724	
Accidents survenus dans l'enceinte des chemins de fer sans être des accidents de chemins de fer proprement dits. — Chutes dans les escaliers des stations.	3			27		
— Causes diverses.	2			47		
— Personnes atteintes en faisant divers travaux en relation avec les chemins de fer.			13			42
— Employés atteints dans les entrepôts, gares de marchandises, remises, etc.		23			1.272	
Totaux.	5	23	13	74	1.272	42
		41			1.388	
Totaux généraux.		1.286			6.112	

(*) Explications des abréviations : Voy., Voyageurs ; — Emp., Employés ; — A. per., Autres personnes.

II. — *Statistique des accidents de chemins de fer proprement dits, survenus en Grande-Bretagne et en Irlande pendant l'année* **1876.**

NOMBRE d'accidents.	DÉSIGNATION des accidents.	NOMBRE DE PERSONNES (*)					
		TUÉES.			BLESSÉES.		
		Voy.	Emp.	A. per.	Voy.	Emp.	A. per.
57	Collisions entre trains de voyageurs ou portions de trains de voyageurs.	27	1		509	39	1
129	Collisions entre trains de voyageurs et trains de marchandises ou machines.	8	2		498	55	
57	Collisions entre trains de marchandises ou portions de ces trains (les 3 voyageurs blessés sont des conducteurs de bestiaux).		6		3	49	2
124	Déraillements de trains de voyageurs.				101	25	1
47	Déraillements de trains de marchandises ou machines.		2			14	
32	Erreurs de direction aux aiguilles (trains ou machines.)				24	6	
24	Excès de vitesse à l'entrée de stations ou garages.			1	64	2	
206	Rencontres de bétail ou d'obstructions sur la voie.		1		5	7	
68	Ruptures de barrières de passages à niveau par des trains.		2			4	1
13	Explosions de chaudières ou ruptures de tubes.		5			20	
12	Avaries du mécanisme des machines.	1			10	1	
880	Rupture de bandages.				1	1	
397	Ruptures d'essieux.				10	5	
4	Dérangements de freins.				1	3	
30	Ruptures d'attelages.		1		16	4	
17	Autres accidents divers.				3	1	
1	Collision entre machines haut-le-pied.	Pas de victimes.					
71	Ruptures de roues.						
1	Rupture de câble d'un plan incliné.						
7	Éboulements de tunnels, ponts, viaducs, etc.						
461	Ruptures de rails.						
22	Dégradations de voies par des inondations.						
19	Glissements de terrain dans des tranchées ou des remblais.						
23	Incendies dans des trains.						
3	Incendies dans des stations.						
	Totaux.	36	28	1	1.245	236	5
	Totaux généraux.	65			1.486		

(*) Explication des abréviations : Voy., Voyageurs; — Emp., Employés; — A. per., Autres personnes.

Remarques. — Presque tous les voyageurs tués autrement que par leur imprudence l'ont été dans des collisions de trains (35 sur 38); et parmi les blessés, 1.010 sur 1.279, l'ont été dans ces accidents. D'autre part, les ruptures de bandages et d'essieux ont été presque toujours inoffensives.

En 1872, il y avait eu 24 voyageurs tués et 1.247 blessés autrement que par leur imprudence.

En 1873	—	40	—	1.522	—
En 1874	—	86	—	1.613	—
En 1875	—	18	—	1.212	—

(*Extrait par* M. Ed. Sauvage, *ingénieur des mines, d'un* Rapport *adressé au Parlement anglais par le* Board of Trade.)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME ONZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

NÉCROLOGIE.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME ONZIÈME.

Planches I, II, III. — Chauffage des voitures de toutes classes sur les chemins de fer. (Voir, pour les détails, la légende des planches, p. 180.)

Planche IV. — Usines à fer anglaises. (Voir la légende, page 211.)

Planche V. — Diagrammes météorologiques relatifs aux explosions de grisou. (Voir la légende, page 227.)

Planche VI. — *Fig.* 1 à 5. Drainage des anciens travaux de mines pour l'expulsion du grisou.

Fig. 1 à 6. Préparation mécanique d'Åmmeberg.

Planche VII. — Consolidation des carrières sous les réservoirs de Montrouge.

Planches VIII, IX, X et XI, *fig.* 1 à 6. — Géologie de Kongsberg.

Planche XI, *fig.* 7 à 15. — Condensation de la vapeur dans les cylindres des machines.

Paris. — Imprimerie Arnous Rivière, rue Racine. 26.

CAHIER DES CHARGES GÉNÉRALES ET SPÉCIALES

APPLICABLES

A L'IMPRESSION, A LA PUBLICATION ET AU DROIT DE VENTE

des **ANNALES DES MINES.**

(EXTRAIT.)

ART. 1er. — La présente adjudication a pour objet l'impression, la publication et le droit de vente, au profit de l'adjudicataire, pendant 15 années (1877 à 1891), du recueil périodique appelé **Annales des mines**, c'est-à-dire,

D'une part, des volumes relatifs aux 5 années (1877-1881) restant à courir sur la 7e série décennale (1872-1881) et du volume de **Tables** de ladite série;

D'autre part, des volumes relatifs aux 10 années (1882-1891) de la 8e série décennale et du volume de **Tables** correspondant.

. . . .

. . . .

ART. 15. — Les **Annales des mines** seront publiées, comme par le passé, en six livraisons, paraissant de deux mois en deux mois.

Chacune des livraisons comprendra, indépendamment des **Mémoires**, un certain nombre de feuilles consacrées à la **Partie administrative** et ayant une pagination distincte.

En somme, les **Annales des mines** formeront annuellement **trois** volumes in-8°, avec titres et tables, comprenant ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches (2 volumes semestriels consacrés aux **Mémoires**, 1 volume annuel concernant la **Partie administrative**).

ART. 16. — Tous les frais relatifs à l'impression et à la publication de ce recueil périodique seront supportés par l'éditeur, sans que l'administration puisse être tenue d'y participer autrement qu'il est stipulé dans les articles 17, 19, 24, 32 et 33.

ART. 17. — Dans le cas où l'administration jugerait nécessaire de dépasser les nombres de feuilles ou de planches indiqués à l'article 15, l'adjudicataire sera tenu d'admettre toutes les feuilles ou planches dont l'impression ou la gravure lui serait demandée.

Les feuilles excédant le nombre de 90 lui seront payées à raison de 65 francs l'une, indépendamment de la subvention stipulée aux articles 32 et 33.

Les planches excédant le nombre annuel de 24 lui seront payées à raison de 120 francs l'une.

Art. 18. — Dans le cas, au contraire, où les nombres annuels de feuilles ou de planches seraient inférieurs à ceux indiqués audit article 15, le montant des feuilles ou planches fournies en moins serait défalqué de ladite subvention, lors du règlement annuel et d'après les bases mentionnées dans l'article précédent.

Art. 19.— Lorsque, parmi les 24 planches à la charge de l'éditeur, il s'en trouvera une donnant lieu, soit par sa nature spéciale, soit par ses dimensions, à des frais extraordinaires, il sera tenu compte à l'adjudicataire de l'excédant de dépenses, d'après un règlement particulier fait avec lui par l'administration, sur la proposition de la commission des **Annales des mines**.

Art. 20. — Dans le cas où l'insertion de dessins du genre de ceux qui sont mentionnés à l'article précédent n'offrirait point un intérêt en rapport avec les dépenses de gravure, de coloriage ou de tirage, ces dessins ne seront admis qu'autant que l'auteur aurait pris, devant le secrétaire de ladite commission, l'engagement écrit de supporter l'excédant de dépense.

La notification de cet engagement à l'adjudicataire et son acceptation par celui-ci dégageront complétement l'administration de toute responsabilité pour le règlement et le recouvrement de l'excédant de dépenses dont il s'agit.

Art. 21. — Le papier, le caractère et la justification des **Annales des mines** seront exactement conformes aux modèles annexés au présent cahier des charges, tant pour les **Mémoires** que pour la **Partie administrative**, ainsi que pour les deux volumes de **Tables décennales** dont il a été parlé à l'article 1er.

Néanmoins l'adjudicataire sera tenu de se conformer aux modifications de détail qui pourraient être demandées par l'administration, sans pouvoir réclamer à cet égard aucune indemnité.

Art. 22. — Les manuscrits des articles de toute nature et des tables annuelles ou décennales seront remis gratuitement à l'adjudicataire, par les soins du secrétaire de la commission des **Annales des mines**.

L'adjudicataire fournira toutes les épreuves nécessaires aux besoins d'une bonne correction et aucune feuille ne pourra être mise sous presse sans le **bon à tirer** dudit secrétaire. L'administration s'engage, d'ailleurs, à veiller à ce que les auteurs opèrent, sur les épreuves de leurs articles, le moins de corrections possible.

Il est interdit à l'éditeur d'insérer dans le recueil aucun autre article technique, économique et administratif.

Art. 23. — Les dessins annexés aux mémoires seront semblablement remis à l'adjudicataire; ils sont prêts à être gravés.

Les planches seront gravées sur cuivre, à l'eau-forte et par les meilleurs artistes.

Elles restent la propriété de l'administration et sont déposées, après chaque tirage, à l'École nationale des mines.

Elles seront prêtées à l'éditeur, pour les impressions nécessaires à la publication périodique, et aux auteurs, dans le cas de publication séparée qui est prévu à l'article 29.

Art. 24. — L'administration pourra prescrire l'insertion simultanée d'un document dans les **Annales des ponts et chaussées** et dans les **Annales des mines**, qui ont le même caractère et la même justification. Dans ce cas, le secrétaire de la commission de ce dernier recueil remettra à l'éditeur des formes que celui-ci n'aura plus qu'à faire mettre sous presse; il en sera tenu compte à l'administration.

S'il s'agit d'une des 90 feuilles à la charge de l'éditeur, il sera remboursé à l'administration 30 francs par feuille.

S'il s'agit d'une feuille supplémentaire, l'éditeur ne recevra que 35 francs par feuille.

ART. 25. — L'adjudicataire sera tenu de fournir gratuitement à l'administration 250 exemplaires brochés, avec couverture imprimée, de chacune des livraisons et des tables décennales mentionnées à l'article 1er, au fur et à mesure de la publication.

ART. 26. — Sous le contrôle du secrétaire de la commission des **Annales des mines** et moyennant le simple remboursement des frais de poste,

L'adjudicataire expédiera successivement les livraisons de ce recueil aux directeurs des publications, françaises ou étrangères, dont l'échange aura été régulièrement autorisé par décision ministérielle. Ces livraisons seront prélevées sur les 250 abonnements gratuits de l'administration.

En outre, il recevra et remettra ces publications échangées audit secrétaire, qui se chargera d'en opérer le dépôt à la bibliothèque de l'École nationale des mines.

ART. 27. — Si l'administration avait besoin d'un certain nombre d'abonnements et de tables en sus de celui que l'adjudicataire est tenu de lui fournir gratuitement, aux termes de l'article 25, le prix à payer serait seulement des deux tiers du prix fort.

ART. 28. — L'adjudicataire remettra gratuitement à chaque auteur, par l'entremise de l'administration, 20 exemplaires par extraits brochés, paginés, avec titre et couverture, de tout article inséré dans les **Annales des mines**.

En outre, les auteurs pourront faire faire des tirages à part, qui seront payés par feuille d'impression, à raison de :

9 francs jusqu'à 50 exemplaires,

10 francs au delà de 50 et jusqu'à 100 exemplaires,

5 francs en plus pour toute centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde.

Les frais de papier et de tirage des planches jointes au tirage à part seront payés sur factures et aux prix de revient.

ART. 29. — Chaque auteur pourra publier séparément les articles ou séries d'articles insérés dans les **Annales des mines**; mais la mise en vente de l'ouvrage ne pourra avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons auxquelles il aura été emprunté.

ART. 30.— L'éditeur des **Annales des mines** remettra au secrétaire de la commission les bibliographies françaises, anglaises, allemandes et italiennes, nécessaires à la préparation de bulletins bibliographiques destinés à faire connaître aux lecteurs du recueil les publications faites en France ou à l'étranger, touchant l'art des mines. Ces bibliographies seront rendues à l'éditeur, quand il en aura été fait usage.

ART. 31. — En compensation des 250 exemplaires fournis ainsi qu'il est dit à l'article 25 et de toutes les autres charges qui lui sont imposées, l'adjudicataire aura le droit de mettre en vente, à ses risques et périls, et pour son propre compte, autant d'exemplaires qu'il lui conviendra de tirer.

Mais le prix annuel de l'abonnement, y compris les tables décennales, reste fixé, comme par le passé, à 20 francs, pour Paris, et à ce prix, augmenté des frais de poste, pour la province et l'étranger.

. . . .

. . . .

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1877.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

ANDRÉ. — Développements en séries des fonctions elliptiques et de leurs puissances. Termes général d'une série déterminée à la façon des séries récurrentes; par M. D. André, ancien élève de l'École normale. In-4°. (4048)

COLLIGNON (Ed.), ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Cours d'analyse, calcul différentiel et intégral, professé à l'École des ponts et chaussées. 1 beau vol. grand in-8°, avec vignettes. Prix : 12 fr. 50 c.

DOSTOR.—Éléments de la théorie des déterminants; par G. Dostor, professeur de mécanique rationnelle à la Faculté des sciences de l'Université catholique de Paris. In-8°, XXXI-352 p. 8 fr. (4392)

FLAMMARION. — Études et lectures sur l'astronomie; par Camille Flammarion, astronome. T. VII. In-18, X-247 p. 2 fr. 50 c. (1538)

Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences de l'Institut de France et imprimés par son ordre. Sciences mathématiques et physiques. T. XXIII. In-4°, XXII-742 p. et 1 pl. (316)

VENTÉJOL. — Théorie de l'élimination. Résolutions de deux équations algébriques à deux inconnues; par A. Ventéjol, professeur de mathématiques spéciales au lycée Fontanes. In-8°, 51 p. (4015)

2° *Chimie. — Physique.*

Agendas Dunod. 1877, n° 4. Arts et manufactures, Chimie. A l'usage des ingénieurs des manufactures de l'État, directeurs et contremaîtres d'usines chimiques, etc. In-18, relié 241 p. 1 fr. (3049)

ALLARD. — Mémoire sur l'intensité et la portée des phares, comprenant la description de quelques appareils nouveaux ainsi que des études sur la transparence des flammes, la vision des feux scintillants et la transparence nocturne de l'atmosphère; par M. E. Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-4°, 172 p. et 8 pl., 15 fr. (3374)

DEBRAY, membre de l'Institut. — Cours élémentaire de chimie minérale. 2 forts vol. grand in-8° avec vignettes et planches. Prix : 24 fr.

ESBACH. —De l'analyseur gazométrique et du baroscope correcteur à colonne mercurielle, leur application au dosage de l'urée; par le docteur Esbach. In-8°, 19 p. (3631)

FONTAINE. — Éclairage à l'électricité, renseignements pratiques; par Hippolyte Fontaine, 48 gravures dans le texte. In-8°, XVI-239 p. (5172)

KNAPP (traduit par *Debize*, ingénieur en chef des manufactures de l'État). — Traité de chimie technologique et industrielle, t. I et II. 2 très-forts vol. grand in-8°, avec très-nombreuses vignettes et planches. Prix : 50 fr.

GIRARDIN. — Leçons de chimie élémentaire appliquée aux arts industriels; par M. J. Girardin, recteur de l'Académie de Clermont. 5° *édition*, entièrement refondue, avec figures dans le texte. I. Chimie minérale. Métalloïdes. In-8°, 690 p. avec 331 fig. (4175)

MAUMENÉ, docteur ès sciences, lauréat de l'Institut. — Traité théorique et pratique de la fabrication du sucre, raffinerie, distillation, etc. 2 forts vol. grand in-8° avec très-nombreuses vignettes. Prix : 55 fr.

PAYEN. — Précis de chimie industrielle, par A. Payen, membre de l'Institut, professeur au Conservatoire des arts et métiers. 6° *édition*, revue par Camille Vincent, t. I. In-8°, 838 p. et 17 pl. (3306)

RENARD. — Second mémoire sur la théorie de l'aimantation dans l'hypothèse d'un seul fluide électrique; par N. A. Renard, professeur à la Faculté des sciences de Nancy, in-8°, 45 p. (5507)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

AGENDA DUNOD, n° 2. — Mines, géologie, métallurgie, exploitation à l'usage des ingénieurs, gardes-mines, maîtres mineurs, etc. In-18 relié, 305 p. Prix : 1 fr.

DUFOUR. — Description sommaire, avec plan, coupes, profil et

listes de fossiles, des terrains tertiaires, fluvio-lacustres et marins de Campbon à Saint-Gildas-des-Bois (Loire-Inférieure); par M. Ed. Dufour, directeur du Muséum d'histoire naturelle de Nantes. In-8°, 24 p. et 8 pl. (5386)

DUMAS. — Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du département du Gard. Ouvrage accompagné de planches et d'une carte géologique en cinq grandes feuilles; par Émilien Dumas, membre de la Société géologique de France. 3° partie. In-8°, 518 pages. (5151)

MEUNIER.— Géologie technologique. Traduction libre de l'Economic geology, de David Page, professeur de géologie à l'Université de Durham; par Stanislas Meunier, docteur ès sciences, aide-naturaliste de géologie au Muséum. In-18, VIII-344 p. avec 80 fig. 3 fr. 50 c. (3267)

PIQUET. — Mémoire sur la richesse minérale de la province de Santander; par M. A. Piquet. In-8°, 55 p. et 3 pl. (3527)

ROLLAND-BANÈS. — Notice sur un voyage géologique dans le bassin carbonifère du nord de la France et de la Belgique; par M. L. Rolland-Banès, ingénieur civil des mines, au Havre. In-8°, 35 p. et 5 pl. (3969)

4° *Mécanique. — Exploitation.*

Agendas Dunod, n° 3. Arts et manufactures, mécanique, à l'usage des ingénieurs du matériel des chemins de fer, conducteurs et constructeurs de locomotives, directeurs d'ateliers de constructions agricoles et navales, 1877. In-18, 244 p. 1 fr. (835)

CLAUDEL. — Formules, tables et enseignements usuels, aide-mémoire des ingénieurs, des architectes, mécaniciens. Partie pratique; par J. Claudel, ingénieur civil. 9° *édition*, revue et considérablement augmentée. 2 vol. in-8°, XXXVI-1857 pages et pl. 27 fr. 50 c. (5120)

CALLON, inspecteur général des mines.— Cours de machines, t. III, résistance des matériaux, grand in-8° et atlas de 28 pl. Prix : 25 fr.

L'ouvrage complet, 3 vol. et atlas de 102 pl. Prix : 75 fr.

CALLON (traduit en anglais par MM. Le Neve Foster et W. Galloway). — Lectures on mining, t. I. In-8°, cloth with atlas of 40 pl. Prix : 26 sh. ou 37 fr. 50 c.

COLLIGNON (Ed.), ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Cours de mécanique appliquée aux constructions, t. I, résistance des matériaux, 2° édit. Prix : 12 fr.

LEDIEU, ex-officier de vaisseau, lauréat et correspondant de l'Institut. — Les nouvelles machines marines, t. I. grand in-8° et atlas. Prix : 30 fr.

MOINET. — Traité général d'horlogerie, 3° édition augmentée d'un appendice, par M. Debize, ingénieur en chef des manufactures de l'État. — Nouveau tirage suivi de : Les montres marines, par MM. A. Ledieu et A. H. Rodanet, constructeur de chronomètres. 2 forts vol. in-8° avec planches. Prix : 35 fr.

NAUDIER. — Des mines et des carrières en droit romain. Législation des mines. Ancien droit. Droit intermédiaire. Loi du 21 avril 1810. Doctrine et jurisprudence; par Fern. Naudier. In-8°, 442 pages. (1071)

PERNOLET, ingénieur civil des mines. — L'air comprimé et ses applications. Grand in-8° relié, avec nombreuses figures dans le texte. Prix : 20 fr.

POILLON. — Cours théorique et pratique des chaudières et machines à vapeur; par L. Poillon, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, VII-464 p. et 8 pl. (5785)

RANKINE (traduit par M. Vialay, ingénieur civil). — Manuel de mécanique appliquée. Grand in-8° relié, avec nombreuses figures dans le texte. Prix : 20 fr.

TALLON, ancien député. — Travail des enfants dans les manufactures. In-18 broché, 1 fr. 50 c.; relié, 2 fr. 25 c.

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

Agenda Dunod, n° 1. — Construction, à l'usage des ingénieurs, architectes, agents voyers, conducteurs et entrepreneurs de travaux publics. In-18 relié, 162 pages. 1 fr.

AUCOC. — Conférences sur l'administration et le droit administratif faites à l'École des ponts et chaussées; par Léon Aucoc, président de section au Conseil d'État, t. III. Des routes nationales et départementales, des ponts et des bacs, des chemins de fer, des tramways. In-8°, 764 pages. Prix : 12 fr. (5068)

CASTENIER. — Nouveau projet de tunnel transmarin pour traverser la Manche ou autres bras de mer. In-4° avec planches en couleur. 12 fr. 50 c.

CHALLOT. — Tramways et chemins de fer sur routes. Historique, jurisprudence, réglementation, d'après les documents officiels; par P. Challot, chef de division au ministère des travaux publics. In-8°, 376 p. 6 fr. (1489)

COUCHE, inspecteur général des mines, professeur du cours de

construction et de chemins de fer à l'École des mines. — Voie. — Matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer, tome III. — 3e fascicule, puissance et effet utile de la locomotive. — Supplément, grand in-8e et atlas. Prix : 12 fr. 50 c. — L'ouvrage complet, en 3 forts volumes et atlas. Prix : 155 francs.

Couche. — Permanent Way, rolling stock and technical Working of railways, tome 1er, translated by *J. Shoolbred*. In-4e Cloth with atlas of 37 plates. Price : 2£ (50 fr.).

De Montdésir, ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Études sur la ventilation par l'air comprimé. In-8e. 2 fr.

Hellwag. — Tracé et profil en long du chemin de fer du Gothard, avec devis approximatif. In-folio et atlas. Prix : 30 fr.

Lartigue. — Note sur les électro-sémaphores pour le block-system, leur application sur les lignes à double et à simple voie (système Lartigue, Teste et Prud'homme); par M. H. Lartigue. In-8o, 32 p. et pl. (3666)

Moinot. Levés de plans à la Stadia. In-8o relié avec 9 planches. Prix : 7 fr. 50 c.

Moschell. — Notice sur le chemin de fer de l'Utliberg (près Zurich), à rampe de 7 p. 100 et traction par simple adhérence; par John Moschell. In-8e, 73 p. 1 fr. (4249)

Morandière, inspecteur général des ponts et chaussée. — Traité de la construction des ponts; 3e fascicule, ponts biais, ponts en charpente, ponts en fonte. Grand in-4e avec atlas. 35 fr.

Les fascicules 1 à 3, 644 pages de texte avec 165 planches. 115 fr.

Roy, ingénieur civil. — Chemins de fer à voie étroite. In-18 relié. 4 fr. 50 c.

Ruprich Robert, architecte du gouvernement, professeur de composition d'ornement à l'École de dessin. — Flore ornementale; livraisons 46 à 50, fin de l'ouvrage. Prix : 12 fr. 50 c. L'ouvrage complet, en carton, 125 fr.; relié, 140 fr.

Série officielle des prix de la ville de Paris applicables aux ouvrages de toute nature à exécuter en 1877-1878 pour le compte de l'administration municipale. *Édition* simplifiée avec sous-détails. (3345)

Winkler. — Traité de construction de ponts; par le docteur E. Winkler, professeur à l'École polytechnique de Vienne. Théorie des ponts. Les poutres droites considérées au point de vue des forces extérieures. Traduit de l'allemand, avec l'autorisation de l'auteur, par Ch. d'Espine, ingénieur. Avec 125 fig. dans le texte et 7 pl. In-8e, XI-252 p. 10 fr. (5335)

6° *Sujets divers.*

Agenda Dunod, n° 5. — Télégraphes, postes et transports, à l'usage des télégraphistes, électriciens, agents des postes et des chemins de fer, et entrepreneurs de transports. In-18 relié, 243 pages. 1 fr.

Barral. — Les irrigations dans le département des Bouches-du-Rhône. Rapport sur le concours ouvert en 1876 pour le meilleur emploi des eaux d'irrigation; par J. A. Barral. In-4°, 271 p. (138)

Belgrand, inspecteur général des ponts et chaussées. — Les travaux souterrains de Paris. — Tome III. — Les eaux anciennes, 1 très-fort volume grand in-8° avec atlas. Prix : 70 fr.

En vente les tomes I, études hydrologiques; II, aqueducs romains. et III, eaux anciennes. 3 grands in-8° et 3 atlas. Prix : 140 fr.

Debauve, ingénieur des ponts et chaussée. — Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées:

Fascicules 15.	Traité des eaux; 1 hydraulique. In-8°.			6 fr.
— 16. —	2 Distribution d'eau. In-8° et atlas.			20 fr.
— 17. —	Météorologie, culture rationnelle. In-8°.			5 fr.
— 18. —	Usages agricoles, irrigations, dessèchements. In-8° et atlas.			15 fr.
— 19. —	Moyens de transport :			
	1re section. Fleuves et rivières. In-8° et atlas,			16 fr.
	2e —	Canaux,	*id.*	18 fr.
	3e —	Ports de mer,	*id.*	21 fr.

De Passy, ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Études sur le service hydraulique, 3e édit. In-8°. Prix : 10 fr.

Gougeard. — La marine de guerre, ses institutions militaires depuis son origine jusqu'à nos jours. Richelieu et Colbert d'après les documents inédits; par M. Gougeard, capitaine de vaisseau. In-8°, 440 p. 6 fr. (246)

Lediec, examinateur de la marine, lauréat et correspondant de l'Institut. — Nouvelles méthodes de navigation. Grand in-8° relié, avec tableaux et planches. Prix : 15 fr.

Le Tuall. — Étude sur le télégraphe automatique de Sir Ch. Weatstone. In-8° et atlas de 48 pl. Prix : 5 fr.

Moyret. — Traité de teinture des soies, précédé de l'histoire chimique de la soie et de l'histoire de la teinture de la soie; par Marius Moyret, professeur de chimie à Lyon. N° 2. In-8°, 65-128 pages. (3901)

Notions générales de bourse, de banque et de change. Nomencla-

ture complète et description de toutes les opérations qui se pratiquent à la bourse de Paris. Traité comprenant : un dictionnaire de la spéculation, des problèmes financiers, un manuel des fonds d'État, des chemins de fer et des sociétés de crédit, un recueil de jurisprudence financière. 1877. In-18 jésus, III-281 pages. 3 fr. (3339)

RONDOT. — L'enseignement nécessaire à l'industrie de la soie. Écoles et musées; par M. Natalis Rondot. Gr. in-8°, VIII-151 pages. (3970)

Tables des Annales des ponts et chaussées, période quinquennale de 1871 à 1875. Prix : 7 fr.

OUVRAGES ANGLAIS.

BOTTOMLEY. *Dynamics*... Dynamique ou mécanique théorique.

JENKIN. *Bridges*... Les ponts; traité élémentaire de leur construction et de leur histoire.

Memoirs of the geological Survey... Mémoires du *Geological Survey :* Géologie de l'est du comté de Somerset et des bassins houillers de Bristol. Géologie de la partie nord du district de l'English Lake.

Explanatory Memoirs... Mémoires explicatifs du *Geological Survey* d'Irlande, accompagnant les feuilles 21, 28 et 29, et les feuilles 83 et 84.

Mineral Statistics... Statistique de l'industrie minérale pour 1875.

WILSON. *A Treatise*... Traité des chaudières à vapeur.

SYMONS. *Pocket altitude Tables.* Tables de poche pour la mesure des altitudes.

CUMMING. *An introduction*... Introduction à la théorie de l'électricité.

GEIKIE. *Outlines of Field geology.* Principes de géologie sur le terrain.

LEES. *Acoustics*... L'acoustique, la lumière et la chaleur.

STOKES. *The absorption of light*... L'absorption de la lumière et les couleurs des corps naturels.

WENLEY. *The Weather*... L'eau, avec une nouvelle théorie de la cause des tremblements de terre.

BESANT. *A Treatise*... Traité d'hydromécanique.

NORTHCOTT. *The Theory and Action*... Théorie et action de la machine à vapeur.

UNWIN. *The Elements*... Les éléments du dessin de machines.

B. WILLIAMSON. *Elementary Treatise*... Traité élémentaire de calcul différentiel.

—— *Elementary*... Traité élémentaire de calcul intégral.

ANGELL. *Elements of Magnetism*... Éléments de magnétisme et d'électricité.

M. C. WILLIAMSON. *The Succession of Life*... La succession de la vie sur la terre.

BOOTH. *Treatise on some*... Traité de quelques nouvelles méthodes géométriques.

BUCKMASTER. *The Elements*... Éléments de chimie inorganique. 1re partie.

J. D. DANA. *A Text-book*... Manuel de géologie.

—— *A Text-book*... Manuel de minéralogie.

NICHOLSON. *The ancient Life-history*... L'histoire ancienne de la vie sur la terre.

ROSCOE. *Technical Chemistry*. Chimie technique.

WYTHE. *The Microscopist*... Le microscopiste, manuel pour l'usage du microscope.

DUFFIELD. *Peru in the Guano age*. Le Pérou à l'époque du guano.

BRAMWELL. *The steam Engine*. La machine à vapeur.

CLARK. *A manual of rules*... Manuel de formules, tables et renseignements à l'usage des ingénieurs-mécaniciens.

MAC DOUGALL. *The relative Merite*... Mérites relatifs des machines simples et des machines *Compound*.

WYMER. *Useful Tables*... Tables usuelles pour les ingénieurs, constructeurs de chaudières, etc. 2e édition.

Parliamentary. Meteorological Observations. Observations météorologiques.

—— *Railways. Board of Trade Report*. Chemins de fer. Rapport du *Board of Trade*.

—— —— *Signal arrangements*... Dispositions des signaux et système de manœuvre.

—— —— *Accidents*... Accidents de chemins de fer. — Rapport de la commission royale. — Rapports des inspecteurs pour 1876. Parties 6 à 9. — Rapports pour 1877, janvier à mars.

—— *Mines*... Mines; rapports des inspecteurs pour 1876.

PASCOE. *Zoological Classification*. Classification zoologique.

LARDNER. *Manual of natural Philosophy*. Manuel de philosophie naturelle; la chaleur.

MACBIRNIE. *The Guide to the Examination*... Guide pour l'examen de la géologie.

HEDLEY. *Principles of Rating...* Principes de l'estimation des mines et des usines.

DANVERS. *Indian Railways...* Les chemins de fer de l'Inde; leur histoire, leur état actuel et leur avenir.

Society of Engineers. Transactions... Transactions de la Société des Ingénieurs pour 1876.

GREENWOOD. *River Terraces...* Terrasses des rivières; lettres sur des sujets géologiques.

MANSON. *On the sulphur Waters...* Sur les eaux sulfureuses de Strathpoffer, dans le Rosshire.

GORE. *The Art of Electro-Metallurgy.* L'art de l'électro-métallurgie.

STREETER, *Precious Stones...* Pierres précieuses et gemmes.

WATT. *Electro-Metallurgy...* Traité pratique d'électro-métallurgie.

KENSINGTON. *Chemical composition...* Composition chimique des eaux, des terres, des minéraux, etc.

MOTT. *The Chemist's manual.* Manuel du chimiste.

PRESCOTT. *Electricity...* L'électricité et le télégraphe électrique.

RAYLEIGH. *Theory of sound.* Théorie du son.

SYMONS. *British Rainfall...* Distribution de la pluie sur les îles Britanniques pendant l'année 1876.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

PECK. *Manual of Geometry...* Manuel de géométrie et sections coniques. New-York.

HENRY. *The early and later History...* L'histoire récente et ancienne du pétrole. Philadelphie.

ASA GRAY. *Darwiniana.* Essais et revues se rapportant au Darwinisme. New-York.

DOUGLAS et PRESCOTT. *Qualitative chemical...* Analyse chimique qualitative. New-York.

Geological Survey of California. J. D. WHITNEY. Vol. I. Polypetalæ, par *W. H. Brewer* et *Sereno Watson.* Gamopetalæ, par *Asa Gray.* Cambridge (Massachusetts).

Geological Survey of Ohio. Report... Rapport du *Geological Survey* de l'Ohio. Vol. II. Géologie et Paléontologie. Columbus (Ohio).

AARON. *A practical Treatise...* Traité pratique de l'essai et du traitement des minerais d'argent. San Francisco.

BLAKE. *Iron and Steel*... Le fer et l'acier à l'exposition de Vienne. Washington.

INGRAM. *Centennial Exposition*... L'Exposition de Philadelphie décrite et illustrée. Philadelphie.

PEARSE. *A concise History*... Histoire concise des usines à fer des colonies américaines jusqu'à la Révolution, et de celles de Pensylvanie jusqu'à l'époque actuelle. Philadelphie.

FERGUSON'S *anecdotal Guide*... Guide anecdotique, historique, géologique, etc., du Mexique. Philadelphie.

HAYDEN. *The Yellowstone national Park*... Le parc national de Yellowstone et les régions montagneuses d'Idaho, de Nevada, du Colorado et de l'Utah. Boston.

OUVRAGES ALLEMANDS.

KOBELT. *Illustrirtes Conchylienbuch*... Conchyliologie illustrée. 1re livraison. Nüremberg.

KREMERS. *Physikalisch-chemische*... Recherches physico-chimiques, 7e fascicule. Affinité des combinaisons. Wiesbaden.

SEIDLITZ. *Beiträge*... Contributions à la théorie de la descendance. Leipzig.

WEISMANN. *Studien*... Études sur la théorie de la descendance. Leipzig.

WIES. *Populäre Geologie*. Géologie populaire. Luxembourg.

CLEBSCH. *Vorlesungen*... Leçons de géométrie, rédigées et publiées par *Lindemann*. 1er vol., 2e partie. Leipzig.

FLIEDNER. *Lehrbuch*... Traité de physique. 2e partie. Brunswick.

V. GALL et ED. WINTER. *Die analytische Geometrie*... Géométrie analytique du point et de la droite. Darmstadt.

HENRICH. *Vorträge*... Études de géologie. Fascicules 1 et 2. Wiesbaden.

BECKER. *Die Elemente*... Éléments de géométrie exposés sur des bases nouvelles. Berlin.

V. COTTA. *Beiträge*... Contributions à l'histoire de la géologie. 1re partie. Répertoire géologique. Leipzig.

DELLINGSHAUSEN. *Die rationellen Formeln*... Les formules rationnelles de la chimie, établies sur la base de la théorie mécanique de la chaleur. 2e partie. Heidelberg.

ZÖLLNER. *Principien*... Principes d'une théorie électro-dynamique de la matière. 1er vol. Livre I. Leipzig.

FEISTMANTEL. *Paleontologische Beiträge*... Contributions paléontologiques : I. Sur les genres indiens de Cycadées Ptilophyllum Morr. et Dictyozamites Oldh. — II. Sur le genre indien Williamsonia Carr., avec remarques sur la flore des couches où il se trouve. Cassel.

O. HEER. *Flora fossilis arctica. Die fossile*... Flore fossile des régions polaires. Vol. IV. Zurich.

MARTINI et CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet*... Collection systématique de coquilles, publiée et complétée par *H. E. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Römer. Livraisons 252-256. Nüremberg.

MICHELIS. *Anti-darwinistische*... Observations contraires au darwinisme. Bonn.

L. PFEIFFER. *Novitates conchologicæ. Abbildung*... Descriptions et figures de coquilles nouvelles. 1re partie. Coquilles terrestres; livraisons 50-51.

SCHEFFER. *Die Naturgeschichte*... L'histoire naturelle et sa liaison avec les principes des sciences abstraites. 2e partie. Leipzig.

SCHLÜTER. *Cephalopoden*... Céphalopodes de la craie supérieure d'Allemagne, 2e partie, 4e livraison. Cassel.

Neues Handwörterbuch... Nouveau dictionnaire de chimie, rédigé par *H. V. Fehling* avec le concours de Bunsen, Fittig, Fresenius, etc. 22e livraison. Brunswick.

HEUMANN. *Anleitung*... Guide pour les manipulations de chimie inorganique. Brunswick.

ERDMANN. *Die Axiome*... Les axiomes de la géométrie. Leipzig.

KARRER. *Geologie*... Géologie de la conduite d'eau de la source Kaiser Franz Josef; étude des formations tertiaires du bord occidental des Alpes des environs de Vienne. Vienne.

KOLBE. *Kurzes Lehrbuch*... Petit traité de chimie inorganique. Brunswick.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle du monde primitif. Publié par *W. Dunker* et *A. Zittel.* vol. XXIV, livraisons 4 et 5; suppl. III, livraisons 2-4; table générale des 20 volumes de la 1re série, 2e fascicule. Cassel.

ROSE. *Ueber die Krystallisation*... Sur la cristallisation des diamants. Berlin.

ZITTEL. *Studien*... Études sur les éponges fossiles. Munich.

BISCHOF. *Die feuerfesten Thone*... Les argiles réfractaires, leur

gisement, leur composition, leur exploitation, leur traitement et leur emploi. Leipzig.

STEGMAN. *Die Bedeutung*... Le chauffage au gaz et les fours à gaz, pour la cuisson des porcelaines, des poteries, des briques, du ciment et du calcaire, ainsi que pour la fusion du verre. Berlin.

STÜRMER. *Geschichte*... Histoire des chemins de fer, 2e partie. Bromberg.

POST. *Grundriss*... Principes de technologie chimique. 1re partie.

POLLITZER. *Die Bahnerhaltung*... L'entretien de la voie, guide théorique et pratique pour le service de l'entretien de la voie dans les chemins de fer. 2e partie. Brünn.

v. LINDHEIM. *Kohle und Eisen*... Le charbon et le fer dans le commerce du globe pendant les années 1865-1876. Vienne.

ZETZSCHE. *Handbuch*... Manuel de télégraphie électrique. Vol. I, 2e livraison. Berlin.

BECKER. *Handbuch*... Manuel de la science de l'ingénieur. Vol. V, 7e fascicule. Stuttgard.

Mittheilungen über... Communications sur l'état de l'artillerie et du génie. Publié par le comité militaire i. r. technique et administratif. Année 1877. Vienne.

HEINZERLING. *Die Brücken der Gegenwart*. Les ponts actuels. 1re partie, ponts en fer. 3e fascicule. Aix-la-Chapelle.

RAMDOHR. *Die Gasfeuerung*... Le chauffage au gaz, ou construction rationnelle des fours à gaz industriels. 2e partie. Halle.

SCHWABE. *Ueber das englische*... Sur l'état des chemins de fer anglais. Vienne.

STROTT. *Technische Chemie*... Chimie technique, appliquée à la construction des édifices et des machines. Holzminden.

WEHRMANN. *Reisestudien*... Études de voyage sur les installations et l'exploitation des chemins de fer anglais, et spécialement sur l'organisation du transport des marchandises et les tarifs. Elberfeld.

ENGELHARD et CHLUPP. *Lehrbuch*... Traité du service des transports par chemins de fer. Livraisons 8-14. Vienne.

v. TUNNER. *Das Eisenhüttenwesen*... Les États-Unis de l'Amérique du Nord. Vienne.

OUVRAGES ITALIENS.

Annali del Museo... Annales du Musée d'histoire naturelle de Gênes, publiées par les soins de *G. Doria* et *R. Gestro*. Vol. VII. Gênes.

BRIVIO. *Elementi di aritmetica...* Éléments d'arithmétique, géométrie et système métrique. Turin.

Congresso (secondo) degli architetti... Deuxième congrès des architectes et ingénieurs italiens à Florence. Florence.

LOVISATO. *Trattato di algebra...* Traité d'algèbre élémentaire. Turin.

MORETTA-GABETTI. *Delle ferrovie di montagna...* Des chemins de fer de montagne à roue dentée du Righi. Turin.

MORISSO. *Sul lavoro della resistenza...* Sur le travail de la résistance moléculaire dans les solides élastiques, et sur quelques applications du principe d'élasticité. Turin.

REGIS. *Sulle sviluppabili...* Sur les développables circonscrites à deux surfaces du second degré. Turin.

ANELLI. *Dell' acido solforico.* De l'acide sulfurique ordinaire des Anglais. Turin.

BOTTI. *Dei marmi...* Des marbres des Alpes apuennes et de leur travail. Florence.

Elenco delle altitudini... Table des altitudes des points géodésiques de l'Italie, résultant de la triangulation exécutée par le Corps d'état-major. 3e fascicule. Florence.

GUARNIERI. *Le ferrovie...* Les chemins de fer et la défense de l'État. Florence.

LUVINI. *Compendio di geometria...* Traité de géométrie plane et solide, et de trigonométrie rectiligne et sphérique. Turin.

BRACCIA. *Errori sulla teoria...* Erreurs dans la théorie de la pile. Cingoli.

CARASSI DEL VILLAR. *Meccanica delle mine...* Mécanique des mines. Turin.

DE LUCA. *Determinazione del numero...* Détermination du nombre minimum des freins à appliquer à un convoi. Turin.

DADDI. *Corso di geodesia...* Cours de géodésie (1re partie) pour les écoles d'application de l'artillerie et du génie. Turin.

Ministerio di agricoltura... Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. Règlement pour la section italienne de l'Exposition universelle de Paris de 1878. Rome.

FILOPANTI. *Lezioni di astronomia*... Leçons d'astronomie. Milan.

FOGLINI. *Matematiche*... Mathématiques élémentaires. vol. II.

PAOLINI. *Sulla ricerca*... Sur la recherche des minerais dans la campagne de Montorio al Vomano. Teramo.

MORANDINI. *Brevi cenni*... Quelques renseignements sur les propriétés et le travail de la fonte, du fer et de l'acier. Novare.

SPADA. *Cenni storici*... Renseignements historiques et observations géologiques sur les terrains de Numana et Sirolo. Osimo.

ZINNO. *Elementi di chimica*.... Éléments de chimie générale dans le système moderne. vol. I. Chimie inorganique. Naples.

CAPELLINI. *Sui terreni terziarii*... Sur les terrains tertiaires d'une partie du versant septentrional de l'Apennin. Bologne.

—— *L'uomo pliocenico*... L'homme pliocène en Toscane. Rome.

FORESTI. *Cenni geologici*... Renseignements géologiques et paléontologiques sur le pliocène ancien de Castrocane. Bologne.

SCHIFF. *Introduzione allo studio*... Introduction à l'étude de la chimie d'après les leçons faites au Musée des sciences naturelles de Florence. Turin.

SILVESTRI. *La scombinazione chimica*... Les combinaisons chimiques appliquées à l'interprétation de quelques phénomènes volcaniques; synthèse et analyse d'un nouveau minéral trouvé à l'Etna. Catane.

UZIELLI. *Sopra la baritina*... Sur la barytine et le fer oligiste de Calofuria, et sur la pyrrhotine de la mine de Bottino. Rome.

—— *Sopra la zircone*... Sur le zircon de la côte tyrrhénienne. Rome.

VITALI. *Elementi di matematica*... Éléments de mathématiques pures. Forli.

CRUTO. *La misura logaritmica*... La mesure logarithmique universelle des températures, découverte physico-mathématique. Florence.

GASTALDI. *Frammenti di paleontologia*... Fragments de paléontologie italienne. Rome.

PUCCETTI. *Manuale di chimica*... Manuel de chimie pratique, comprenant ce qui peut être utile aux arts industriels, au commerce et à l'agriculture. Lucca.

MARZORATI. *La metalloscopia*. La métalloscopie. Milan.

SEGUENZA. *Ricerche paleontologiche*.. Recherches paléontologiques sur les cirrhipèdes tertiaires de la province de Messine. 2e partie. 3e famille, Lépadides. Naples.

—— *Studii paleontologici*... Études paléontologiques sur la faune

malacologique des sédiments pliocènes déposés à grande profondeur. Pise.

Annuario scientifico... Annuaire scientifique et industriel. 13ᵉ année (1877). 1ʳᵉ partie (Astronomie, par *G. Celoria;* Physique, par *R. Ferrini;* Météorologie, physique du globe, par *F. Denza;* Chimie générale et technologique, par *L. Gabba;* Paléontologie, par *L. Pigorini;* Géologie, minéralogie, paléontologie, par *G. Grattarola*). 2ᵉ partie (Mécanique, par *G. Sacheri;* Art de l'ingénieur et travaux publics, par *L. Trevellini;* Industrie et applications scientifiques, par *G. Vimercati*...). Milan.

BASSANI. *Pesci fossili...* Poissons fossiles nouveaux du calcaire éocène de Monte Bolca. Padoue.

COOKE. *La nuova chimica.* La nouvelle chimie. Milan.

ADAMI. *Molluschi terrestri...* Mollusques terrestres et fluviatiles vivant dans la vallée de l'Oglio. Padoue.

CASALI. *La cera fossile...* La cire fossile et l'huile minérale de Monte Falco. Bologne.

BASSI. *L'economia del combustibile...* L'économie du combustible obtenue par la manière de diriger les générateurs de vapeur. Milan.

CUFFIA. *Breve trattato...* Petit traité de mathématiques élémentaires. 1ʳᵉ partie. Bergame.

Enciclopedia di chimica... Encyclopédie de chimie scientifique et industrielle, ou dictionnaire général de chimie, ouvrage original dirigé par *F. Selmi.* Turin.

Memorie per servire... Mémoires pour servir à la description de la carte géologique d'Italie, publiée par les soins du Comité géologique du Royaume. Vol. III, 1ʳᵉ partie. Rome.

MEUCCI. *Revista meteorologica...* Revue météorologique de l'année 1876. Florence.

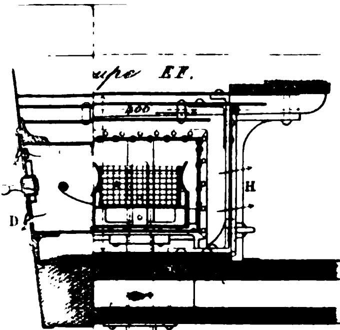
PINCHERLE. *Sulle superficie...* Sur les surfaces d'aire minima. Pavie.

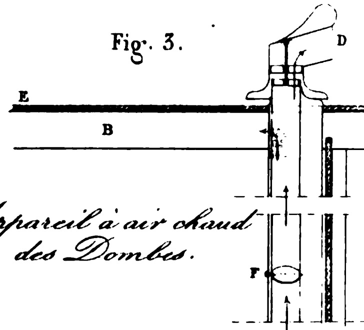
PUTERI. *Gli alcaloidi...* Les alcaloïdes et leurs iodures. Milan.

—— *Gli alcaloidi...* Les alcaloïdes et leurs bromures et chlorures. Milan.

SCHIVARDI. *Revista idrologica.* Revue hydrologique. Milan.

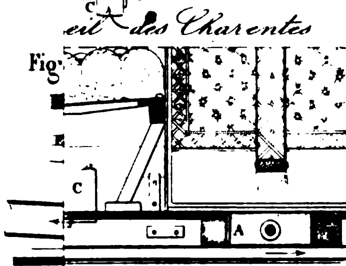
Notizie intorno le miniere... Notice sur les mines de charbon de Krapina. Florence.





Appareil à air chaud des Dombes.

eil des Charentes



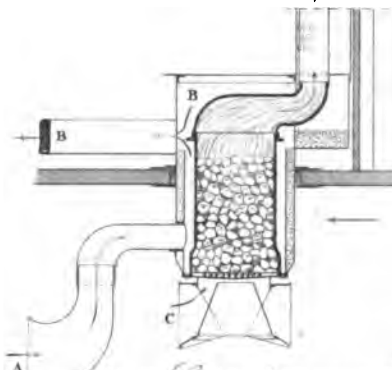
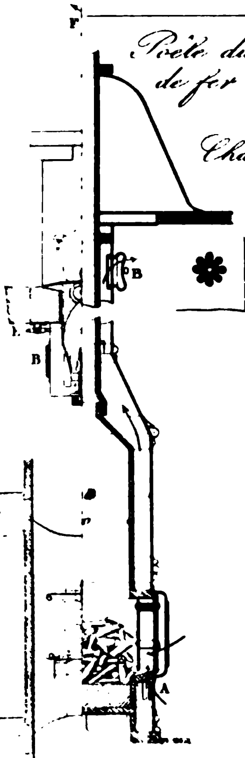
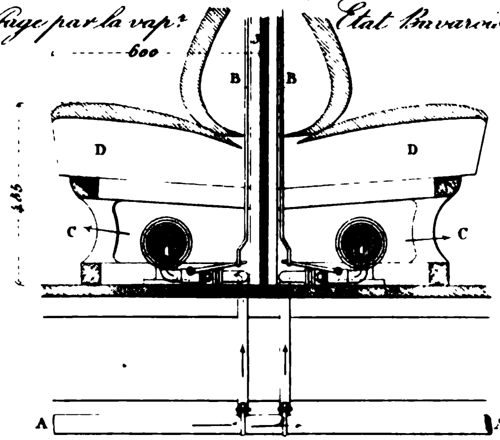


Fig. 11. Coupe transversale

Poêle du chemin de fer Nicolas.



Chauffage par la vap. Etat Bavarois



Echelle des Fig. 1 et 2 de 0m. 10 pour 1 mètre

Echelle des Fig. 3, 4, 6, 7, 8, 9 10 11 de 0m. 05 pr 1 mètre

Echelle de la Fig. 5 de 0m. 025 pour 1 mètre

Macquet del. et sc.

Système Mousseron avec chaufferettes (Est-Français)

Fig. 3.

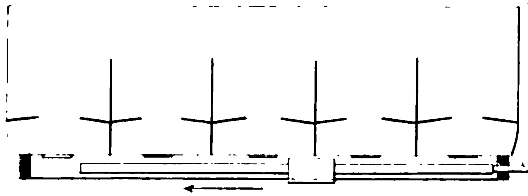
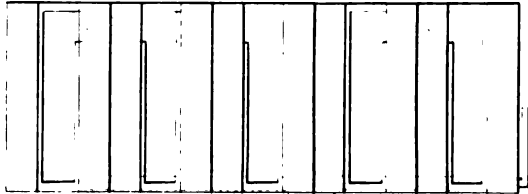


Fig. 4.



Chauffage par poêle. (Est-Français)

Fig. 7.

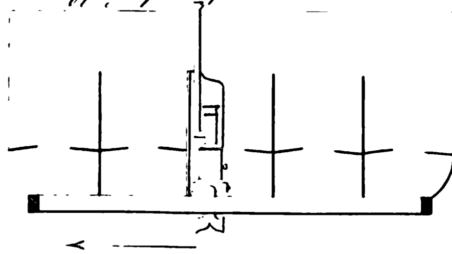
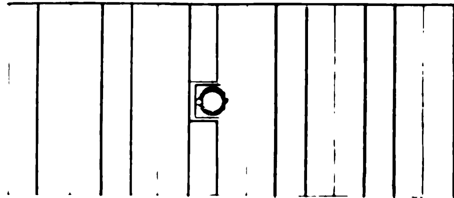


Fig. 8.

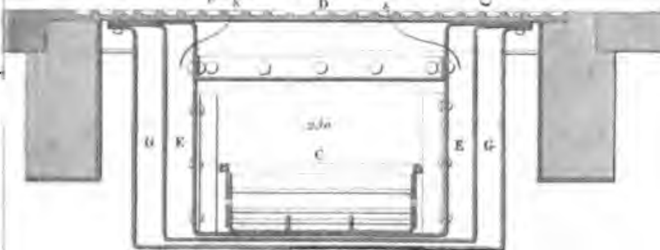


mètre 3 décim.

mètre 6 decim.

Est-Français) (fig. 5, 6, 9 et 10.)

Fig. 10.



..les des Ma..

Macquet del. ..

...ge des chaufferettes mobiles,
(fig. 6 et 7)

g.ᵉ 1

...ans.   Appareil ... de l'Est.

Fig.ᵉ 7.

D

A

850

G

g.ᵉ 2

g.ᵉ 3

D

15'

30'

45'

B

4ʰ

15'

30'

45'

2ʰ

15'

30'

45'

3ʰ

15'

30'

45'

4ʰ

400

890

810

400

1.100

C

4.600

1.320

B

B

Macquet del. et sc.

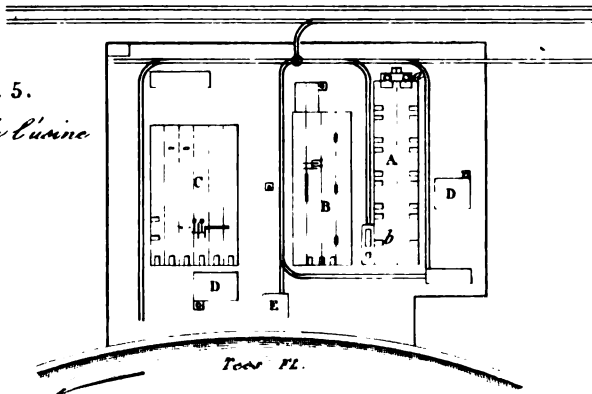
...zale

Usine d'Erimus (Cleveland)

Fig. 4. Coupe longitudinale de l'usine.

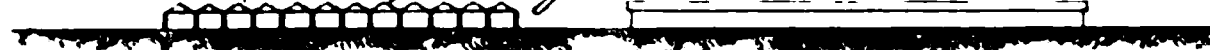


Fig. 5. Plan de l'usine



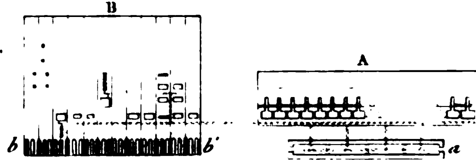
Usine de Hallside (Ecosse)

Fig. 6. Coupe longitudinale de l'usine.



Plan de l'usine

Fig. 7.



...es d'Erimus.

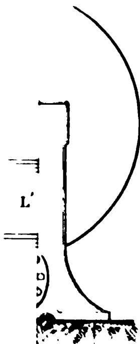
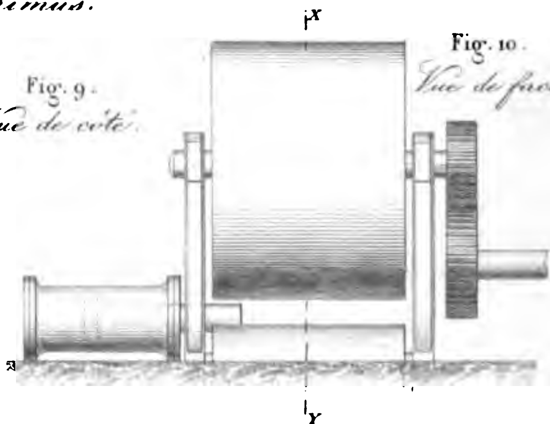


Fig. 9. Vue de côté.

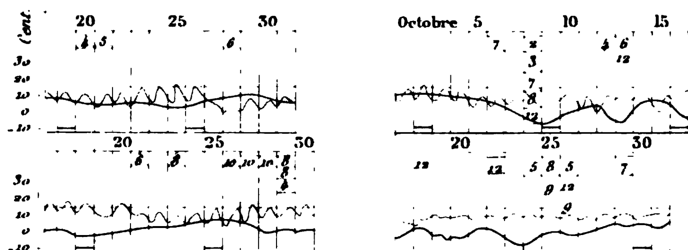
Fig. 10. Vue de face

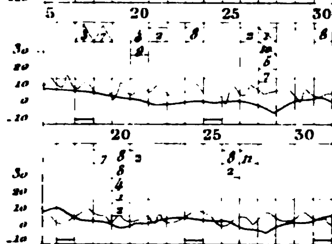


Macquet del. et sc.

Fig. 3.

1870





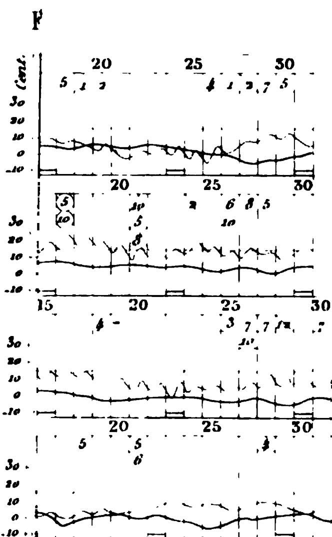
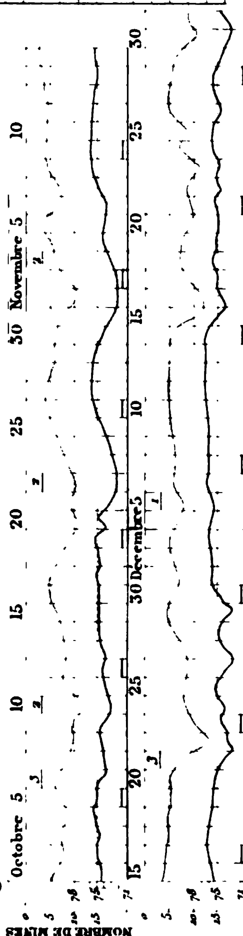


Fig. 4.

Diagramme de l'apparition occasionnelle du grisou dans 35 mines d'Europe.

1873



Macquet sc.

...trice à Trommel.

Fig. ... suivant ABCD.

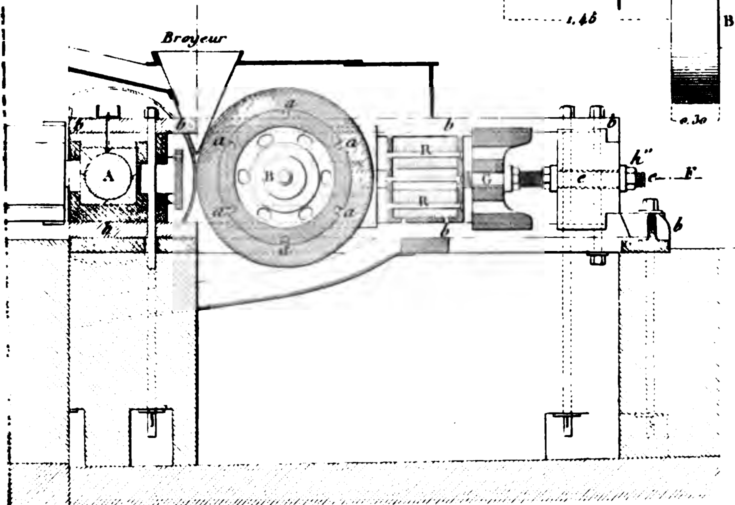


Fig. 4. Pulvérisateur

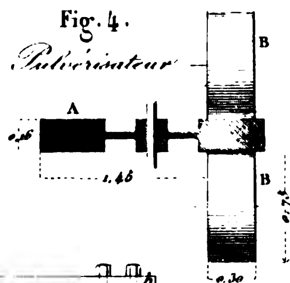
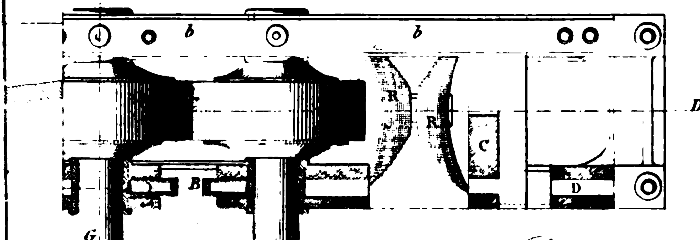


Fig. 3. Coupe horizontale suivant EF.



...5. Crible Utsh.

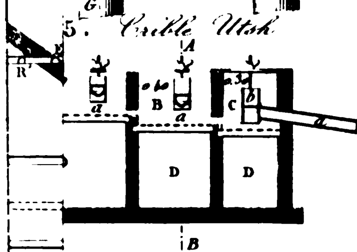
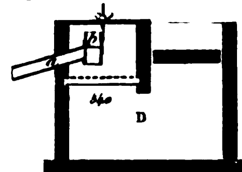


Fig. 6. Coupe suivant AB.



...lle des Fig. 1, 2, 3 et 4 de 0m 02 pour 1 mètre

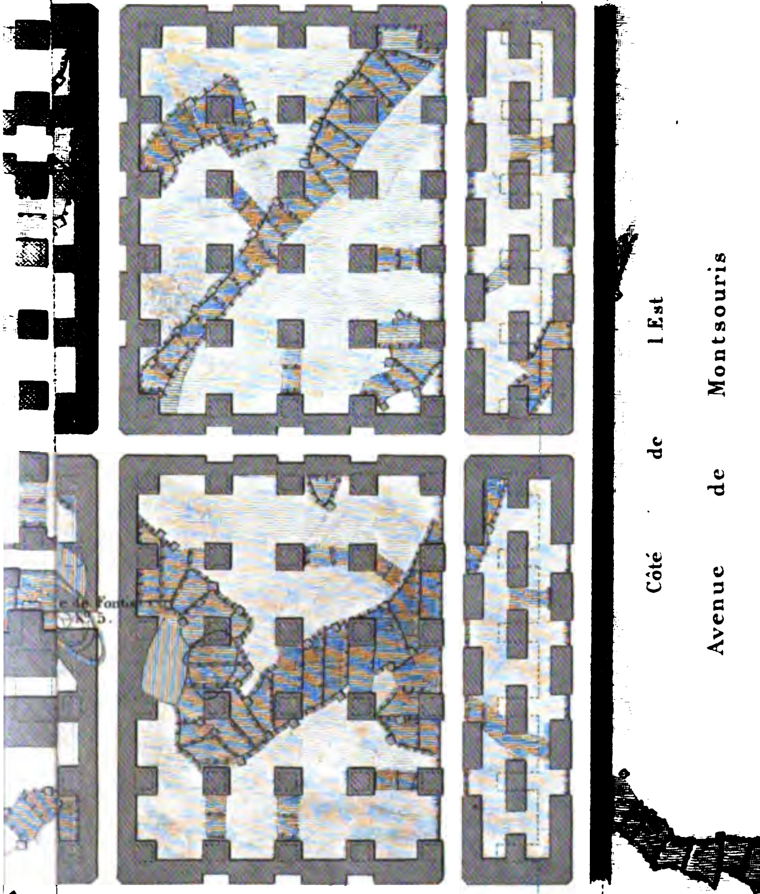
1 2 3 4 mètres

...lle des Fig. 5 et 6 de 0m 025 pour 1 mètre

1 2 3 mètres

...des Min...

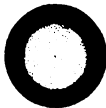
Macquet del. et sc.

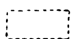


LÉGENDE

 *Puits de service comblés en beton*

 *Anciennes rues de carrières*

 *Anciens puits de carrières remplis en beton.*

 *Constructions à la surface (Murs et piliers des réservoirs)*

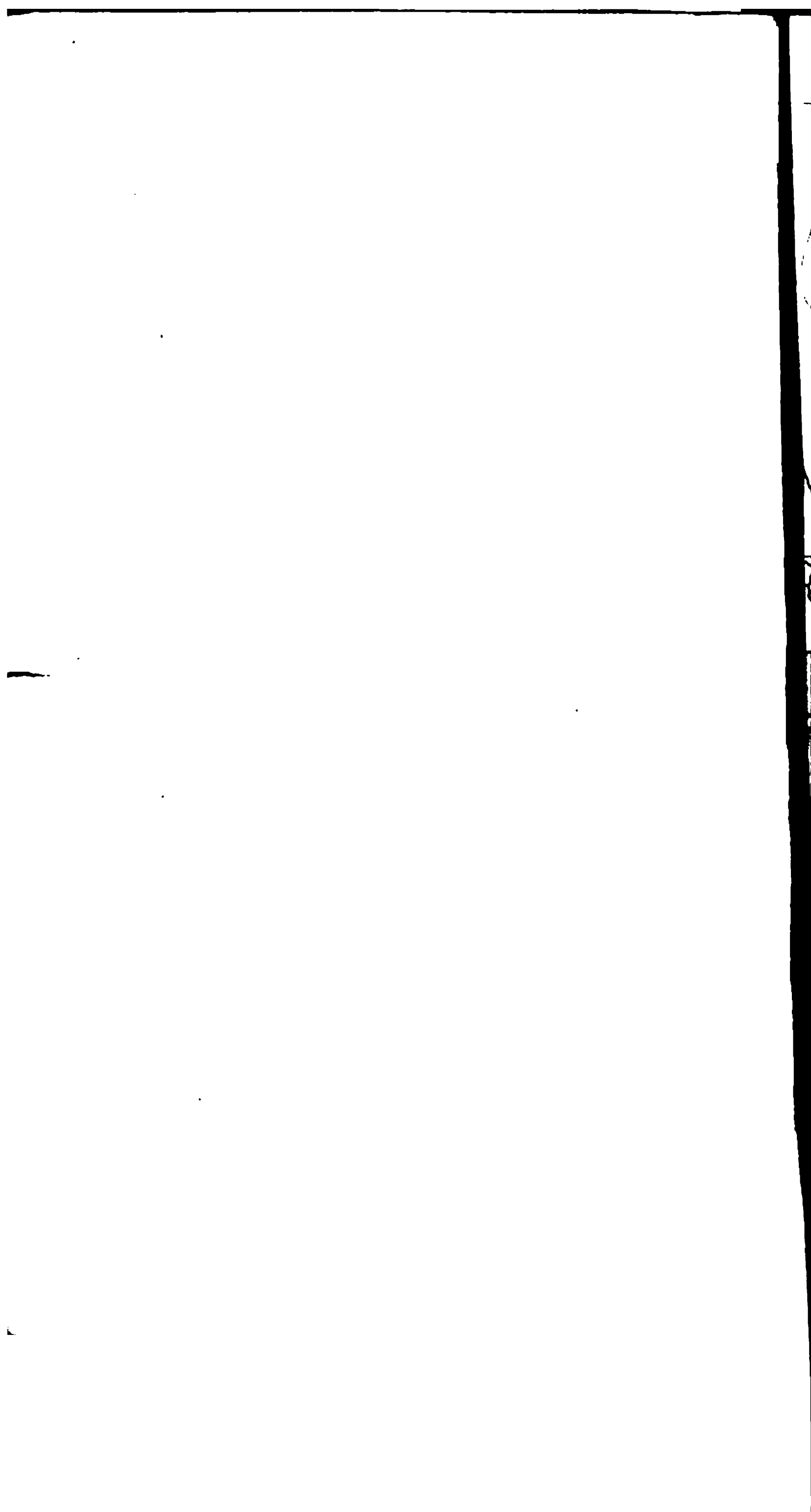
bâtir.

CON-*tier.*

à sec.

Echel carrières

Macquet del. et sc.



Pl. VIII.

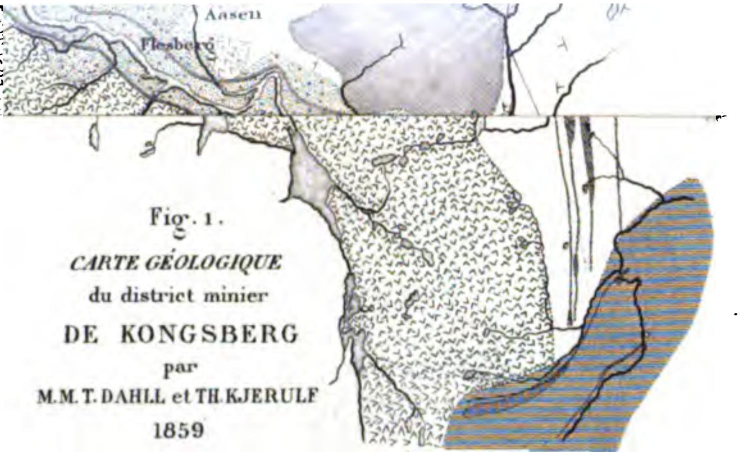
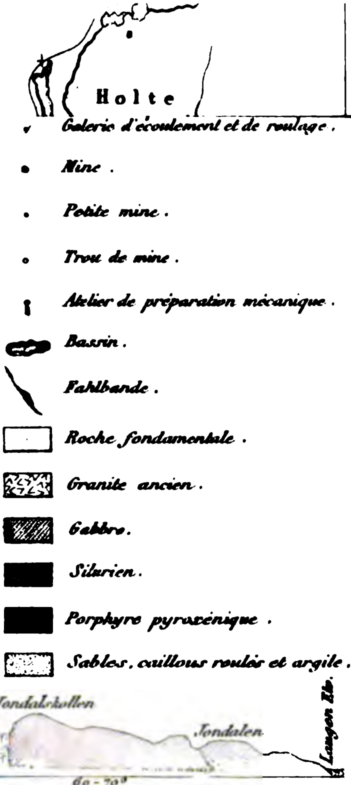


Fig. 1.
CARTE GÉOLOGIQUE
du district minier
DE KONGSBERG
par
M.M. T. DAHLL et TH. KJERULF
1859



Echelle des Fig. 1 et 2 de 0m. 082 pour 10 kilomètres

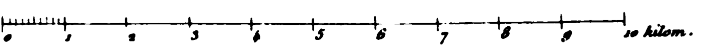
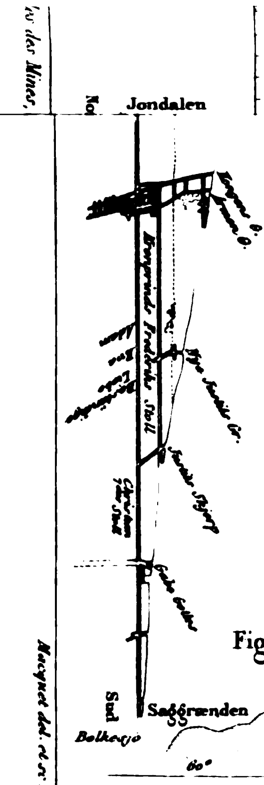


Fig. 2. *Coupe transversale suivt. la vallée de Jondal*



Christians Stoll.



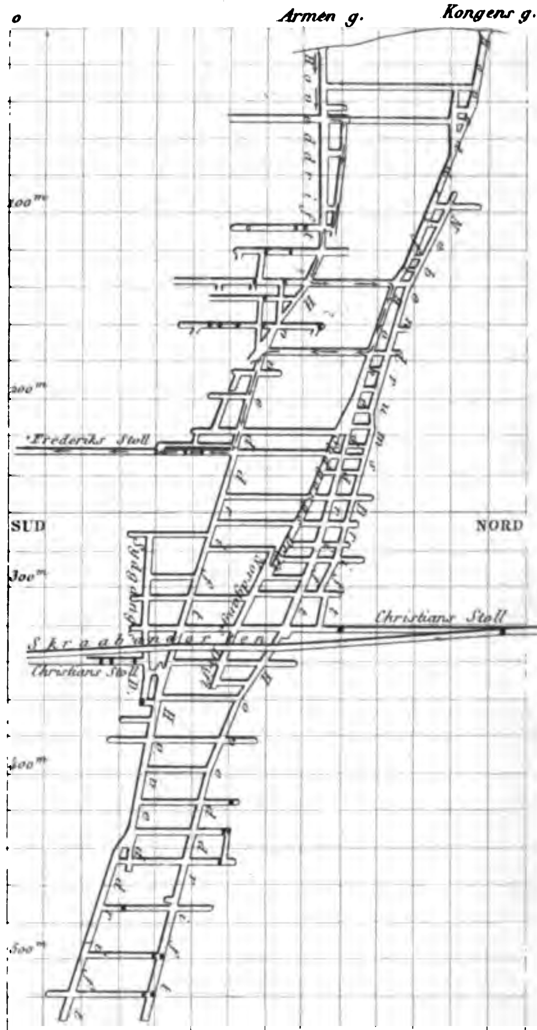
Echelle de la

Macquet del. et sc.

les des Mines,

Fig. 2.

Coupe transversale des Mines du Roi et des Pauvres.



Lettengang. (Filon argileux)

Dyke de porphyre.

150m (sous la surface)

Macquet del. et sc.

